

Bestämning av optimal skördetidpunkt och lagringspotential för äpple med DA- meter

Determination of the optimum harvest maturity for apple using
the chlorophyll absorbance index

Sarah Eneqvist Staflin



Bestämning av optimal skördetidpunkt och lagringspotential för äpple med DA-meter

Determination of the optimum harvest maturity for apple using the chlorophyll absorbance index

Sarah Eneqvist Staflin

Handledare: Docent Ibrahim Tahir. Institutionen för växtförädling, SLU, Alnarp.

Examinator: Professor Marie Olsson. Institutionen för växtförädling, SLU, Alnarp.

Omfattning: 15 hp

Nivå och fördjupning: G2E

Kurstitel: Kandidatarbete i trädgårdsvetenskap

Kurskod: EX0495

Program/utbildning: Trädgårdsingenjör:odling – kandidatprogram

Utgivningsort: Alnarp

Utgivningsår: 2017

Omslagsbild: Ibrahim Tahir – SLU – 2016

Elektronisk publicering: <http://stud.epsilon.slu.se>

Nyckelord: *Äpple, optimal skördetidpunkt, mognadsindex, DA-meter, fruktqualität, lagringssjukdom*

SLU, Sveriges lantbruksuniversitet

Fakulteten för landskapsarkitektur, trädgårds- och växtproduktionsvetenskap

Institutionen för biosystem och teknologi

Förord

Detta självständiga arbete är resultatet av ett kandidatarbete som utförts på 10 veckor (15 HP) under höstterminen 2016. Kandidatarbetet ingår som ett avslutande moment i trädgårdsingenjörsprogrammet – med odlingsinriktning – vid Sveriges lantbruksuniversitet.

Jag vill ge ett stort tack till min handledare Ibrahim Tahir för sitt engagemang under detta arbete. Tack även för all hjälp, med statistik och resultatanalys, och för all den kunskap du besitter som du har delat med dig av. Du har varit ett stort stöd för mitt skrivande under arbetets gång och jag har lärt mig mycket av dig.

Jag skulle även vilja tacka Jan Flemming Jensen, odlingsansvarig på Kiviks musteri vid Solnäs gård. För att vi fick störa er i det hektiska arbetet vid skörden, och att jag fick använda äpplen från era odlingar.

Sist vill jag tacka min familj och mina vänner, men främst min man Tobias som varit ett stort stöd, inte bara under detta arbete utan under hela min studietid vid SLU.

Alnarp, januari 2017

Sarah Eneqvist Staflin

Sammanfattning

För att kunna tillgodose marknadens och konsumenternas krav på högkvalitativ frukt krävs en långsiktig strategi för hantering av frukt vid och efter skörd. Därför har en ny metod tagits fram som på ett exakt och icke-destruktivt sätt bestämmer optimal skördetidpunkt och lagringsduglighet. Syftet med detta arbete var att utvärdera användningen av det icke-destruktiva, praktiska och korrekta instrumentet, DA-mätare. Försöket utfördes på äpplesorterna 'Aroma' och 'Discovery'. Flera mognadsindex bedömdes för att avgöra mognadsgraden för äpple (Streif index, fasthet, stärkelsenedbrytning, total löslig torrs substans och respirationshastighet). Den portabla spektrometern, DA-meter (klorofyll absorbans index (I_{AD})), kontrollerar fruktmognaden genom att mäta klorofyllnedbrytning (skillnaden i absorbans mellan 670 och 720 nm) under skalet. DA-mätaren utvärderades för att kunna ersätta dessa mognadsindex med en mer praktisk och icke-destruktiv metod. Resultaten visar att det finns korrelationer mellan alla de destruktiva metoder som använts i försöket och plockningstiderna (mognadsgrad). De destruktiva index som visar en tydlig korrelation med plockningstiden har även tydlig korrelation med respirationshastigheten och kan därmed användas som lämpliga mognadsindex. Dessa index är stärkelsenedbrytning och fasthet för 'Discovery', samt total löslig torr substans och Streif index för 'Aroma'.

I_{AD} -värdet visade en mycket stark negativ korrelation med plockningstiden och med respirationshastigheten för båda äpplesorterna. Därför kan I_{AD} -värdet användas som ett index för att bestämma den optimala skördetidpunkten. Eftersom resultaten visade mycket stark korrelation mellan destruktiva mognadsindex och I_{AD} -värdet, kan dessa destruktiva metoder ersättas med DA-mätare för mer exakt bestämning av mognadsgrad. Lagringspotentialen för de två äpplesorterna kan bedömdas med hjälp av I_{AD} . Denna studie visar att 'Discovery' bör skördas inom intervallen I_{AD} 1,0 - 1,5 och lagras under maximum 11 veckor, för att få så bra lagringspotential som möjligt. Medan 'Aroma' bör skördas vid ett I_{AD} - värde mellan 1,6 - 1,9 och lagras under 12 veckor.

Abstract

To meet market and consumer demand for high quality fruit a long-term strategy for how to handle fruit during and after harvest is required. Therefore, a new method has been developed that accurately and non-destructively determine the optimal harvest date and storability. The purpose of this work was to evaluate the use of the non-destructive, practical and accurate instrument DA-meter. The trial was performed on apple varieties 'Aroma' and 'Discovery'. Several maturation indices were assessed to determine the level of maturity of apple (Streif index, firmness, starch degradation, total soluble solids and respiration rate). The portable spectrometer, DA-meter (chlorophyll absorbance Index (I_{AD})), were evaluated to replace these methods with a more practical and non-destructive method. The results showed close correlations between all the destructive methods used in this study and picking times. The destructive indices which showed clear correlations with picking times as well as with respiration rate should be used as optimal maturity index. These destructive indices were starch degradation and firmness for 'Discovery' and Streif Index and total soluble solids for 'Aroma'.

I_{AD} value showed strong correlation with picking time and respiration rate at harvest. Therefore, different destructive maturity indices can be replaced with DA-meter to determine the optimal harvest time for either cultivars. The storage potential of the two apple cultivars could be assessed using I_{AD} values. This study showed that 'Discovery' should be harvested in the ranges of 1.0 - 1.5 I_{AD} and stored for maximum 11 weeks in air, to get as good storage potential as possible, while 'Aroma' should be harvested at I_{AD} value between 1.6 and 1.9 and stored for 12 weeks in air.

Innehållsförteckning

1	Bakgrund	1
1.1	Äpple i världen.....	2
1.2	Äppelproduktionen i Sverige	2
1.3	Äppelsorter i Sverige	3
1.4	Lagring av äpplen	4
2	Litteraturgenomgång.....	5
2.1	Fruktkvalitet: definition, inre och yttre parametrar	5
2.1.1	Utseende.....	6
2.1.2	Färg.....	7
2.1.3	Defekt	7
2.1.4	Fasthet.....	8
2.1.5	Smak.....	8
2.2	Fruktutvecklingsfysiologi.....	9
2.3	Faktorer som påverkar fruktkvaliteten och lagringspotential	14
2.3.1	Innan skörd	14
2.3.2	Vid skörd	15
2.3.3	Efter skörd.....	17
2.4	Förluster	17
2.5	Bestämning av optimal skördetidpunkt: destruktiva och icke-destruktiva metoder.....	19
2.5.1	Traditionella index	20
2.5.2	Moderna index, destruktiva och icke-destruktiva metoder.....	20
2.5.2.1	Destruktiva metoder.....	20
2.5.2.2	Icke-destruktiva metoder.....	21
2.6	Bestämningen av fruktlagringspotential	22
3	Syfte och frågeställning	23
4	Material och metod.....	24
4.1	Avgränsning	24
4.2	Växtmaterial	24
4.3	Analyser.....	25
4.3.1	Bedömning av mognadsgrad vid skörd.....	25

4.3.1.1	Mognadsgrad enligt I _{AD} värde.....	25
4.3.1.2	Mognadsgrad enligt respirationshastighet.....	25
4.3.1.3	Mognadsgrad enligt fasthet, stärkelsenedbrytning och total löslig torrsubstans.....	25
4.3.2	Bedömning av mognadsgrad och lagringspotential.....	26
4.4	Statistik	26
5	Resultat.....	27
5.1	Bestämning av fruktmognadsgrad med destruktiva metoder	27
5.2	Bestämning av fruktmognadsgrad med I _{AD} värde	30
5.3	Jämförelse mellan destruktiva och icke-destruktiva metoder	33
5.4	Fruktlagringspotential	38
6	Diskussion	41
6.1	Vilken destruktiv index passar de två sorterna för att bestämma trädmognaden?	41
6.2	DA som en icke-destruktiv metod för bestämning av trädmognad	42
6.3	Kan DA-mätare ersätta de destruktiva metoderna?	42
6.4	Bedömning av fruktens lagringsduglighet med DA-mätare.....	43
7	Referenser.....	45
8	Bilagor	51

1 Bakgrund

Äpple, *Malus domestica* Borhk., tillhör familjen *Rosaceae*, som ingår i subdivisionen gömfröväxter. Underfamilj är *Maloideae*, släkte: *Malus* och art *domestica* vilken har 17 par kromosomer. Allmänna karaktärer hos domesticerade äppletyper är att de har tätt ludna unga skott med matt gröna blad som är elliptiska-ovala i formen. Blomskaft, blombotten och undersidan av foderbladen är tätt ludna.

Frukten är en typisk kärnfrukt som består av en köttig förstorad blomaxel med ett kärnhus som innehåller frön (Jackson, 2003). Botaniskt är äpplet utvecklad från fruktämnet och andra intilliggande vävnader. I fruktskalet finns epidermis, en hinna, och flera hypodermis lager. Skalet spelar stor roll i fruktförsvarmekanismen samt innehåller viktiga näringsämnen, som flavonoider, kalium och C-vitamin (Kalinowska *et al.*, 2014). Fruktkärnhuset är femrummigt eftersom blompistillen har 5 märken. Äpplet består av ungefär 50 miljoner olika slags celler, där varje slag har en viss funktion.

Äpple, precis som många andra frukter, består till största delen (84,4%) av vatten (Salunkhe & Desai, 1984). Näst efter vatten innehåller äpple mest kolhydrater (11-14g/100g) och små mängder av fett (0,05g/100g) och protein (200 mg/100 g) (Livsmedelsverket, 2016). Frukt är en oundgänglig källa till vitaminer (A, B, E och C) och mineraler (kalium, kalcium, järn, fosfor och natrium) (Salunkhe & Desai, 1984). Rött äpple (t.ex. 'Aroma') innehåller relativt höga halter av vitamin C (5,1 mg/100g), folat (4,9 µg/100g) och järn (0,08 mg/100g) (Livsmedelsverket 2016). Äpple har ett lågt innehåll av kalorier men har samtidigt ett högt innehåll av antioxidanter och ämnen som modifierar enzymaktiviteten. Boyer & Liu (2004) beskriver att bioaktiva ämnen av denna typ minskar risken för flertalet sjukdomar, bland annat hjärtsjukdomar, diabetes och cancer.

1.1 Äpple i världen

Det äpple som odlas kommersiellt i världen idag kommer ursprungligen från en domesticering av den asiatiska arten *Malus sieversii*, som senare fått betydande genetiskt bidrag från den europeiska vildapeln *Malus sylvestris* (Cornille *et al.*, 2012). Skogar av äppelträd hittades i bergskedjan i Himalaya, varifrån det spreds mot väst och norrut till antika Grekland där det började odlas så tidigt som 600 f.Kr (Ryall & Pentzer, 1982). Äpple blev sedermera den mest odlade frukten i norra Europa. Eftersom det är en växt som behöver en köldperiod för att bryta knoppvila, har äpple i stor utsträckning odlats i de tempererade delarna av Europa, sydvästra Asien och i Kaukasus i centrala Asien (Zohary *et al.*, 2012). Frukten spreds senare även till Nord- och Sydamerika med europeiska upptäckare av den nya världen (Ryall & Pentzer, 1982).

Produktionen av äpple i världen 2013 uppgick till ca 80,8 miljoner ton, där den skördade arealen var ca 5,2 miljoner hektar (FAO, 2016). Det är i Asien och Europa som produktionen av äpple är störst, där produktionen i Asien är ca 51,8 miljoner ton och i Europa är den ca 16 miljoner ton. Näst efter kommer Nord- och Sydamerika med ca 9,8 miljoner ton, Afrika med ca 2,5 miljoner ton och sist Oceanien med ca 0,7 miljoner ton. Kina står för den största mängden producerat äpple i Asien (39 miljoner ton), och även för nästan hälften av produktionen i världen. I Europa är det Polen (3,1 miljoner ton), Turkiet (3,1 miljoner ton) och Italien (2,2 miljoner ton) som har störst produktion. Anmärkningsvärt är att odlingarna i Schweiz, Holland, Italien och Frankrike har en väldigt hög produktivitet. Bland länderna i Skandinavien är det Danmark som har den högsta produktionen av äpple med 31 000 ton, medan Sverige inte är långt efter med 27 400 ton. Den skördade arealen i Sverige och Danmark är nästan lika stor (1400 ha respektive 1381 ha), men Danmark har ett högre skördeutbyte (22,5 ton/ha) jämfört med Sverige (17,5 ton/ha) (FAO, 2016).

1.2 Äppelproduktionen i Sverige

Äpple är en av de viktigaste fruktslagen i Sverige. Konsumtionen är relativt hög, med tanke på att omkring 53 % av befolkningen äter äpple mer än 3 gånger i veckan och 42 % av befolkningen äter äpple 1-2 gånger i veckan (Fernqvist *et al.*, 2011). Ungefär

80 % av konsumenterna anser att svenska äpplen är de bästa och 40 % av dem föredrar att endast köpa svenska äpplen.

Produktionen av svenska äpplen är förlagd i de södra delarna av Sverige, med den största delen av odlingarna i Skåne (Johansson, 2010). Under de senaste åren (2009-2015) har produktionen ökat från 21 000 ton till ca 25 000 ton (FAO, 2016). Ökningen beror på att en del nyplantering med moderna täta planteringar har gjorts. Under en tioårsperiod (2002-2012) har antalet äppelträd ökat med ca 60 %, medan skördade arealen har ökat med 4 % (Johansson & Persson, 2013). Den svenska äppelproduktionen svarar dock endast för ca 20 % av den konsumerade mängden äpple årligen (Johansson, 2010). Under höst och vinter när det är högsäsong för svenska äpplen är försörjningsgraden ca 50 %. Att den årliga försörjningsgraden är så pass låg som 20 % beror främst på att produktionen är låg, vilket medför att de svenska äpplena tar slut under vintern. Utvecklingen av den svenska äppelindustrin står huvudsakligen inför två svåra problem, låg produktivitet och relativt höga förluster efter skörd.

Produktiviteten hos svenska äppelodlingar är relativt låg i jämförelse med andra europeiska odlingar. I jämförelse med exempelvis Schweiz, Holland och Tyskland, motsvarar den svenska avkastningen endast 37 %, 49 % och 60 % respektive (FAO, 2016). Data från Äppelriket för perioden 2010-2015 visar att mellan 9-27 % av lagrade äpplen inte kunde säljas som klass 1, eller ens klass 2, på grund av åtskilliga efterskördsdefekter (Tahir, 2016 enl. meddelande). Den låga produktiviteten hos de svenska odlingarna beror inte bara på skillnaden i klimat och kortare odlingssäsong, utan även det faktum att extensiva odlingsmetoder utövas och att det inte finns samma möjligheter till efterskördsbehandling och lagring (Tahir, 2014). För att höja medelavkastningen och därmed lönsamheten för svensk produktion av äpple är det viktigt att öka trädavkastningen, förbättra fruktkvaliteten och minska efterskördsförluster.

1.3 Äppelsorter i Sverige

Fruktträdskulturen kom till Norden i och med kristendomens införande, och uppförandet av kloster med sina anlagda fruktgårdar (Nilsson, 1986). I mitten på 1800-talet utkom

den första svenska pomologin av Olof Eneroth där flera odlade sorter beskrevs. Denna pomologi omarbetades senare av Alexandra Smirnoff i början på 1900-talet, boken tar upp och beskriver 371 äpplesorter, och används fortfarande vid examinering av gamla äpplesorter.

I Sverige odlas 'Katja', 'Summerred', 'Discovery' och 'Gravenstein' som sommarsorter av äpple, vilka mognar i augusti och har begränsad hållbarhet. 'Aroma', 'Ingrid Marie', 'Rubinola', 'Santana' och 'Cox Orange' odlas som höstsorter, vilka mognar under september och oktober och har längre hållbarhet. 'Gloster', 'Frida' och 'Mutsu' odlas som vintersorter, vilka mognar innan frosten inträder (Tahir, 2014). De vanligaste odlade sorterna är 'Ingrid Marie', som tillsammans med sin mörkröda mutant 'Karin Schneider' utgör 25 % av den totala arealen äppelodling i Sverige, näst efter följer 'Aroma' (17 %) och 'Discovery' (9 %). 'Ingrid Marie', 'Aroma' och 'Discovery' är några av de sorter som har utgjort större delen av nyplanteringar de senaste åren (Johansson & Persson, 2013). Dock så har den arealmässiga nyplanteringen av de sorterna minskat för att ge plats för nya sorter som 'Rubinola', 'Santana' och 'Frida'.

Äpplesorten 'Discovery' är en engelsk sort som på 80-talet började tas upp i odling av yrkesodlare i södra Sverige (Aldén, 1994). Det är en medelstor plattrund frukt, som har en gul grundfärg med nästan heltäckande röd täckfärg. Fruktköttet är fast och krispigt, med en saftighet och god arom (Tahir, 2014). 'Discovery' är hållbar i kylskåp ca 4-6 veckor.

Äpplesorten 'Aroma' är en korsning mellan sorterna 'Ingrid Marie' och 'Filippa' som togs fram vid Alnarp 1947 (Nilsson, 1986). Sorten marknadsfördes senare, efter provodling på 1960-talet, till yrkesodling 1973. Frukten är stor med en rund eller konisk form utan åsar, den har en gulgrön grundfärg med rödstrimmig täckfärg. Smaken kan beskrivas som söt syrlig med ett saftigt fruktkött, men en typisk utpräglad arom (Tahir, 2014). 'Aroma' kan lagras i 4-5 månader.

1.4 Lagring av äpplen

Utvecklingen av den svenska äppelindustrin kräver att det finns bra lagringsmöjligheter som begränsar de relativt höga förlusterna som sker efter skörd. Målet med att lagra

frukt är att minska mognadshastigheten och fördröja mognaden så länge som det är möjligt, utan att göra avkall på marknadens krav på kvalitet (Fidler *et al.*, 1973). Den viktigaste aspekten för att uppnå dessa mål för lagring är att sänka temperaturen och höja luftfuktigheten, vilket uppnås med vanlig kylagring. Det är den enklaste metoden för att lagra frukt, men under dessa förhållanden förlängs bara lagringstiden en kortare period. För att uppnå längre lagringstider krävs förändringar även i atmosfären i lagret för att minska fruktens respirationshastighet och därmed även minska mognadshastighet ytterligare.

Förändringar i atmosfären i lager innebär en minskning syrehalten och en ökad koldioxidhalt. Lagringstekniker som använder sig av modifierad atmosfär är CA-lagring (*Controlled Atmosphere*) och ULO-lagring (*Ultra Low Oxygen*). CA-lagring går ut på att atmosfären i lagret förändras genom att öka halten koldioxid (från 0,03 % upp till 2-5 %) och minskar syrehalten (från 21 % ner till 2-3 %) (Sass, 1993). Genom att sänka syrehalten ytterligare och lagra i ULO-lager, där syrenivån är ca 1 %, kan lagringstiden förlängas ytterligare.

I en studie av Ekenstierna (2004) diskuteras lagringen av äpplen i Sverige. Ekenstierna menar att användningen av ULO-lager har förlängt säsongen och gör det möjligt att vara mer konkurrenskraftig på marknaden. Men att det finns problem i att de möjligheter att använda sig av ULO-lager inte är tillräckliga och att tekniken är dyr att inskaffa och installera.

2 Litteraturgenomgång

2.1 Fruktkvalitet: definition, inre och yttre parametrar

Fruktkvalitet är ett komplext begrepp som innehåller många olika parametrar. Kvalitet består av en kombination av utseende, textur och smak. Efterfrågan hos moderna konsumenter är ett fläckfritt utseende och den optimala textur, smak och fasthet som är typisk för sorten (Watkins & Rosenberger, 2002). Begreppet kan ha många betydelser, främst beroende på vem som tillfrågas. För en äppelodlare är frukt av god

kvalitet den sort som har god avkastning och bra hållbarhet, medan det som är viktigt för en konsument är en frukt med bra färg, konsistens och smak. Shewfelt & Brückner (2000) definierar produktkvalitet som "Kvalitet är att möta konsumentens förväntningar". Vad konsumenten söker behöver inte alltid vara entydigt, utan det är ofta baserat på användningen av produkten, och personliga preferenser hos konsumenten. Den faktor som styr konsumentens produktpreferens är god smak, medan utseendet (färg, form och storlek) är de parametrar som valet oftast baseras på (Kader, 2002).

Hur kvalitet definieras kan delas in i yttre och inre parametrar, där yttre parametrar är de som påverkar fruktens utseende och de inre parametrarna innefattar hur frukten smakar, dess textur, arom och näringsinnehåll (Kader, 2002). Yttre parametrar kan även inkludera att frukten är fri från stötskador, symptom på fysiologiska sjukdomar eller svampangrepp samt dess förpackningsmaterial och innehåll av bekämpningsmedelsrester (Shewfelt & Brückner, 2000). Dessa faktorer inte direkt har verkan på fruktens fysikaliska egenskaper, utan påverkar produktens konsumentacceptans.

2.1.1 Utseende

Eftersom konsumenter baserar sina inköp på vad de ser, är utseendet den viktigaste kvalitetsfaktorn. Fruktens form bör vara karakteristisk för att särskilt utmärka varje sort (Tahir, 2014). Frukt graderas efter dess storlek, som kan mätas antingen som dess diameter, vikt eller volym. Frukt med liknande storlek förpackas vanligen tillsammans, eftersom extra stora och väldigt små frukter har lägre lagringspotential.

Enligt EU:s regelverk för handelsnormer och kvalitetskontroll sorteras äpplen i tre kvalitetsklasser: Klass Extra, Klass 1, och Klass 2 (Jordbruksverket, 2013). Frukt i Klass Extra skall vara av högsta kvalitet, utseendet skall vara typiskt för sorten, den skall vara välformad och fri från synliga skador och bör hålla en viss storlek. Frukt i Klass 1 visar några storleks- och formavvikelser, mindre förändringar i täckfärg och mindre stötskador och fel i skalet (skorv och rostfläckar). Frukt i klass 2 får ha fler avvikelser i färg, form, storlek och skador, men ändå vara frukt av god kvalitet. Den

frukt som inte når upp till dessa kvalitetskrav sorteras som industrifrukt, vilken skickas till förädling där den blir till must, kräm, mos med mera.

2.1.2 Färg

Äpplet innehåller flera föreningar så som antocyaner, klorofyll, karotenoider, och flavonoider som tillsammans utgör fruktens färg. Antocyaner är den viktigaste av dessa föreningar för den röda färgen hos äpple. Dessa befinner sig i skalet, och kan öka mer än femfaldigt under mognaden för vissa sorter. Färgen är en viktig faktor när det gäller att utvärdera fruktens kvalitetsegenskaper. Många människor anser att det är en nära korrelation mellan fruktens färg och dess kvalitet (Kays, 1999).

Varje sort har specifika handelsnormer för färg som sträcker sig från grön eller gul för sorter som 'Gravensteiner', till röd för sorter som 'Aroma', 'Ingrid Marie', 'Santana' och 'Frida'. Vissa sorter är i nuläget endast säljbara om de når upp till strikta standarder för röd färgintensitet och täckningsgrad (Tahir, 2014).

2.1.3 Defekter

Att frukten är fri från defekter, som mekanisk skada eller fysiologisk skada, och inte innehåller rester av bekämpningsmedel eller är smittbärare, är även av stor vikt vid kvalitetsbedömning. Stötskador kan orsakas av fler typer av belastning som stötar, tryck och vibrationer. Dessa skador orsakas ofta vid hantering, så som vid skörd, transport, sortering, packning och i lager (Sass, 1993). Skadan visar sig som en tillplattad eller insjunken yta i skalet, som blir mjuk och brunfärgad. Den skadade vävnaden har högre respirationshastighet och är mer mottaglig för infektioner. Ericsson och Tahir (1996 a), visar i ett försök att en fallhöjd på 5 cm är tillräckligt för att göra skada på äpple, och att olika sorter har olika mottaglighet för stötskada. Där 'Cox Orange Pippin' var mindre mottaglig medan 'Aroma' var mer känslig för stötskada. För att minska risken för stötskada efter skörd kan frukten sköras i optimal tid, eftersom sen skörd ökar risken för stötskada (Ericsson & Tahir, 1996 b). Även fältnedkylning (*pre-cooling*) minskar risken för stötskador efter skörd. Däremot så kan

fruktköttens densiteten och skalets tjocklek bidrar till ett motstånd hos frukten mot de stötskador som uppkommer under normal hantering. Såväl fysiologiska som patogena skador, liksom stötskador, är inte acceptabla på någon marknad. Sortens mottaglighet för stötskador kan därför avgöra dess kommersiella framgång (Watkins & Rosenberger, 2002).

2.1.4 Fasthet

Texturen är ett viktigt kvalitetskriterium, där krispiga äpplen ofta uppfattas som av bra kvalitet medan mjöliga inte är särskilt åtråvärda. Flera komponenter påverkar denna egenskap, som innehåll och sammansättning av cellväggen, partikelstorlek och form, vatten- och lipidinnehåll (Sams, 1999). Frukten fasthet vid skörd och en långsam uppmjukning under lagring förbättrar inte bara lagringsdugligheten utan minskar även äpplets mottaglighet för svampangrepp (Tahir *et al.*, 2015). Äpplets fasthet påverkas även av fruktens storlek, som i sin tur påverkas av mängden kväve som appliceras (Sass, 1993). Kvävegödsling har visats resultera i minskad fruktköttfasthet hos äpplen, och ju mer kväve som tillförs, desto mer minskar fastheten.

2.1.5 Smak

Aromen och smaken är även viktiga delar i bedömningen av kvalitet hos konsumenten. Frukten arom består av flyktiga ämnen som bildas när frukten mognar (Sass, 1993). Över 300 olika ämnen har identifierats som ämnen som karakteriserar aromen för äpple, och inkluderar alkoholer, aldehyder, karboxylsyror, ketoner och estrar (Dixon & Hewett, 2000).

Uppfattning av smak hos äpple är en kombination av aromämnen, organiska syror, socker och fenolinnehåll. Frukten näringsinnehåll är ett kvalitetskriterium som de senaste åren blivit mer och mer viktigt för konsumenten (Kader, 2002). Enligt Jordbruksverket (2003) uppfattas produkter med högt innehåll av näringsämnen, antioxidanter eller andra bioaktiva ämnen som produkter av hög kvalitet.

Sötma och surhet varierar beroende på sort, exempelvis så är surheten för 'Granny Smith'-äpplen hög (0,8-1,2 % äppelsyra) medan den för 'Red Delicious' är låg (0,2-0,4 %) (Watkins & Rosenberger, 2002). Liknande så varierar även sockerhalten för olika sorter, där äppelsorten 'Rubinola' kan ha 30 % högre halt löslig torrs substans än sorten 'Aroma' (Tahir, 2016 enl. meddelande).

2.2 Frukutvecklingsfysiologi

Utvecklingen av frukt på ett äppelträd inleds med blomningen, vilken i Sverige sker på sensvåren, i maj. Äppelblomman består av vardera fem foderblad, kronblad och pistiller, och 10-20 ståndare (Tahir, 2014). Blommorna är ordnade i klungor med ca 5-8 blommor i varje klunga.

Blominduktionen kräver en hormonbalans och tillräckligt med näringsämne i tillväxtpunkterna (meristem). Hormonbalansen leder till derepression av de gener som styr blomknoppsbildning (Luckwill, 1974). Blominduktionen för nästa säsong påbörjas med bildning av nya blomknoppar redan 3-6 veckor efter årets blomning, då de blandade knopparna i äppelträdet omvandlas till generativa blomknoppar (Jackson, 2003). Denna process är beroende av tre interna faktorer, tillgången av näringsämnen speciellt kolhydrater och kväve, frukt- och bladantal och vegetativ tillväxt, samt de tre externa faktorerna ljus, temperatur och vatten (Tromp *et al.*, 2005). Ett starkt växande träd bildar flera vegetativa knoppar som växer till skott, blad och rot, medan ett svagt växande träd skaffar tillräckligt med näringsämnen och därmed kan bilda flera blomknoppar (Tahir, 2014). Optimal kvot av tillgängliga kolhydrater (C) och kväve (N) spelar också viktig roll. Låg C/N-kvot ger hög vegetativ tillväxt och svag blominduktion medan hög C/N-kvot orsakar svag trädutväxt (Tromp *et al.*, 2005). Tillräcklig ljusupptagning, optimal temperatur (16-20 °C) och noggranna odlingsåtgärder stimulerar blominduktionen (Tahir, 2014)

Blomknoppen fortsätter att utvecklas fram till senhösten innan den går in i en viloperiod. Under nästa vår börjar blomknoppen snabbt växa och slår ut. Fruktsättningen kräver inte endast god blominducering utan också att blommorna pollineras av rätt pollen och i optimal tid. De flesta äpplesorter är inte självfertila och måste därför korspollineras av en annan sort (Jackson, 2003). Av detta skäl och för att

korspollinering ska vara möjlig, används ofta prydnadsäpple som pollinationsträd (Tahir, 2014). Pollinationen sker med hjälp av insekter, huvudsakligen av bin och humlor. Pollinationen går ut på att ett pollenkorn flyttas från en blomma av en äppelsort till en blomma av en annan äppelsort. Pollenkornet fastnar på märket och gror på epidermceller. Sedan utvecklas en pollenslang vilken växer ned i fruktämnet och befruktar äggcellen i blommans pistill. Självbefruktnings förhindras när antingen pollenkornet inte kan växa på märket, eller när pollenslangen inte kan gro i cellväggen och sedan i det intercellulära utrymmet mellan cellerna på grund av dess genetiska egenskaper (Tromp *et al.*, 2005). För att få en lyckad pollinering krävs att den sker inom den Effektiva Pollinerings Perioden (EPP), då äggen är mottagliga för pollen (Jackson, 2003). EPP skiljer sig åt mellan olika sorter och kan vara från 1 dag upp till 10 dagar, EPP kan även variera beroende på trädålder och fysiologisk ålder hos blommorna.

Äppelträd bildar ett överflöd av blommor, men alla utvecklas inte till frukt. Efter pollinationen sker det första och andra av fyra kartfall, där de blommor som blivit dåligt befruktade eller de som inte blivit befruktade alls faller (Jackson, 2003). Det tredje och fjärde kartfallet sker i slutet på maj och början på juni, det kallas ofta junikartfallet. Kart- och frukt-fallen är nödvändiga för att få en god skörd med fullt utvecklade frukter. För många frukter på trädet kan leda till sämre kvalitet på äpplen och även sämre blombildning för det kommande året, vilket i sin tur kan leda till växelbäring (Jakopic *et al.*, 2015). Det finns flera olika faktorer som påverkar fruktsättning, bl.a. bladantal, antal frö, ljus, temperatur, vatten och gallring.

Temperatur och ljus har stor inverkan på fruktens tillväxt, där lämpliga temperaturer tidigt på säsongen ökar den slutliga storleken. Frukter placerade mitt i klungan, utvecklade av den terminala blomman, har större möjlighet att ta upp näringsämnen, medan de laterala blommorna har mer konkurrens och har därför mindre tillväxt. Faktorer som påverkar fotosyntesen negativt, såsom låg temperatur, dålig ljusexponering och skador i bladen har en negativ inverkan på fruktens tillväxt. Tillväxten begränsas även av tillgången på vatten och näring (Tomala, 1997; Tromp *et al.*, 2005).

Efter äggcellbefruktnings kan fruktutvecklingen delas in i tre stadier: utvecklingsfas, mognadsfas och åldrande (Tahir, 2014). Utvecklingsfasen utgörs av de två

processerna celldelning och cellexpansion. Frukten tillväxt och slutliga storlek beror på hur väl celldelningen kunnat fortgå och hur mycket cellerna hinner expandera innan mognad och skörd (Ferree & Warrington, 2003). Den större delen av celldelningen sker inom 4-5 veckor efter blomning. Perioden varierar beroende på sort och olika interna och externa faktorer, så som gallring, temperatur och näringsämnen (Jackson, 2003). Aktiv celldelning är mycket viktig och resulterar i ett tillräckligt cellantal i frukten. Cellexpansionen i äpplet påbörjas när celldelningen upphör. Den innebär flera fysiologiska förändringar i cellen som medför tunnare cellväggar, mindre cellplasma och att vakuolen blir den största delen i cellen (Tahir, 2014). Utrymmet mellan cellerna ökar, vilket medför att fruktdensiteten minskar. Cellexpansionen sträcker sig sedan in i mognadsfasen.

Begreppet mognad kan delas in i två stadier, fysiologisk mognad (trädmognad) och hortikulturell mognad (ätmognad). Trädmognad innebär att frukten är i det utvecklingsstadiet där den fortsätter att utvecklas och mogna även efter den plockats från trädet (Kader, 1999). Medan ätmognad är det stadiet där frukten har de kvaliteter konsumenten önskar. Frukten utveckling till ätmognad består av alla de processer som sker från de senare stadierna av tillväxt och utveckling till de tidiga stadierna av åldrande. Detta resulterar i förändringar i fruktens sammansättning, färg, smak, doft och konsistens.

Under fruktutvecklingen och mognadsfasen sker förändringar i fruktens respirationshastighet. Respirationen är en process som använder energirika substrat, så som kolhydrater, fetter och organiska syror, för att producera energi (Jackson, 2003). Energin som utvinns från respirationen används sedan för biosyntesen av nytt växtmaterial och för att upprätthålla cellulära funktioner. Olika processer kräver olika mycket energi, därför kan respirationshastigheten användas som ett mått för när energikrävande processer pågår.

Frukt delas in i två kategorier i avseende på sin andning; klimakterisk och icke-klimakterisk frukt (Tahir, 2014). I klimakteriska frukter sjunker respirationshastigheten efter befruktning. Under det så kallade pre-klimakteriet, som pågår en relativt kort tid innan mognaden inleds, är respirationshastigheten mycket låg. Där efter sker en plötslig ökning i fruktens andning, det för att skaffa tillräcklig energi för mognadsprocessen (Salunkhe & Desai, 1984).

Eten är ett gasformigt växthormon, som binder till receptorer för att aktivera signaler som leder till cellulär respons (Taiz & Zeiger, 2010). Produktionshastigheten beror på vilken typ av växtvävnad det är och i vilket utvecklingsstadium vävnaden befinner sig. Eten bildas av aminosyran metionin, 1-aminocyklopropan-1-karboxylsyra (ACC) fungerar som ett mellanled i omvandlingen av metionin till eten. Vid fruktmognad ökar mängden ACC och aktiviteten av de enzymer som påskyndar processen för etenbildning ökar. Det finns alltid eten i fruktvävnaden i väldigt låga koncentrationer och hormonet ökar aktiviteten av flera enzymer som är associerade med fruktmognad (Jackson, 2003). När frukten når en viss punkt i utvecklingen av fruktmognad blir den mottaglig för eten-responsen, vilket gör att utvecklingsprocesserna som leder till mognad startar och därmed den ytterligare produktionen av eten. Produktionen av eten följer klimakteriekurvan och ökar precis innan respirationstoppen. När frukten går in i mognadsfasen sker en preklimakterieperiod, där eten-produktionen och respirationshastigheten är låg. Respirationshastigheten och etenproduktionen ökar sedan och når sitt maximum (klimakterietoppen).

Nya studier visade att hormonet auxin också kan spela en kritisk roll i regleringen av fruktmognad och kvaliteten på äpple genom dess inverkan på etenproduktionen (Kondo *et al.*, 2009).

När frukten utvecklas sker en inlagring av stärkelse, som en näringsreserv, i cellerna (Sass, 1993). Denna reserv av lagrad stärkelse bryts sedan under fruktmognaden ned till socker. Hydrolysen av stärkelse sker med hjälp av enzymer (α -amylas, β -amylas och fosforylas) som bryter ned stärkelsen till glukos (Seymour *et al.*, 1993). Denna omvandling av stärkelse till socker sker för att kunna tillgodose en ökad respiration med tillgängliga respirationsprodukter i mognadsfasens slutskede. Detta medför också en ökad sockerhalt i frukten (Jackson, 2003).

Frukten smak bestäms till stor del av förhållandet mellan socker och syra. Den totala mängden socker ökar under trädmognad och ätmognad på grund av hydrolys av stärkelse och kan bero på omvandlingen från andra material som inte är socker (t.ex. pektin) (Ferguson & Boyd, 2002). Eftersom socker fungerar som ett substrat för respirationen, kommer det så småningom att minska efter skörd. Reduktionsnivån beror på respirationshastigheten.

Syran som finns i äpple är primärt äppelsyra och en del mindre kvantiteter av citronsyra, askorbinsyra, oxalsyra och mjölksyra (Sass, 1993). Mängden syra i frukten ökar i takt med att frukten förstoras fram till trädmognaden då det visar en liten nedgång. Syror kan även delvis användas som substrat för respirationen, därför minskar även syrahalten tillsammans med sockerhalten (Watkins & Rosenberger, 2002).

Under fruktmognaden sker förändringar i fruktens fasthet och textur. Dessa förändringar kan bero på minskat turgortryck i celler på grund av förlust av vatten, nedbrytningen av stärkelse och nedbrytning av cellväggens strukturer (Seymour *et al.*, 1993). Cellväggen består av kolhydratiska polymerer, och dessa strukturer kan delas in i grupperna cellulosa, hemicellulosa och pektin. Uppmjukningen av fruktköttet är nära relaterat till de kemiska förändringar som sker i den pektinrika mittlamellen (Kovács *et al.*, 1999). Den accelereras av ett högt innehåll av polysackarider som inte består av stärkelse, och är starkt korrelerad med förekomsten av galaktos, glukos, arabinos, mannos och rhamnos i hydrolysen av äppelfibrer (Gheyas *et al.*, 1998).

Under mognadsfasen sker även förändringar med fruktens färg. Färgen på äpplet förändras markant och äpplets grundfärg går från mörkt grön till ljusgrön eller gul. De flesta sorter förlorar den gröna bakgrundsfärgen under mognad, medan den gula eller röda färgen blir mer framträdande. Det beror på att klorofyllet bryts ned under mognad och därmed synliggör de karotenoider som finns i cellerna i skalet. Klorofyll bryts ned med hjälp av flera enzymer, bland annat klorofyllas. Den enzymatiska reduktionen av klorofyll b till klorofyll a är ett tidigt avgörande steg i nedbrytningen av klorofyll i frukt (Hörtensteiner & Kräutler, 2011). Slutprodukten av det nedbrutna klorofyllet är fluorescerande och icke-fluorescerande kataboliter. De inledande (färgade) nedbrytningsprodukterna av klorofyll som finns i åldrande eller mognad frukt kan urskiljas enligt deras absorbansspektra i det röda området, dvs nära 680 nm som är typisk för klorofyll a (Seifert *et al.*, 2014). Den röda färgen uppkommer av att antocyaner syntetiseras under mognaden. Ultraviolett ljus och ackumulering av kolhydrater är basen för syntesen av det röda pigmentet Idaein (cyanidin-3-galactosid) i vakuolen i fruktskalets celler (Westwood, 1993).

När frukten nått full mognad går den vidare in i åldrande, där frukten förbrukar sina lagrade näringsämnen och etenproduktionen och respirationshastigheten återigen går ned (Tahir, 2014).

2.3 Faktorer som påverkar fruktkvaliteten och lagringspotential

Vilken kvalitet och lagringspotential frukt har påverkas av flera faktorer. Enligt Tahir (2006) kan dessa faktorer delas in i tre grupper; faktorer som påverkar kvaliteten innan skörd, vid skörd och efter skörd.

2.3.1 Innan skörd

Sass (1993) tar upp klimatet och odlingsplatsen som faktorer som påverkar fruktkvaliteten och fruktens lagringspotential. Vädret har en betydande påverkan på lagringsdugligheten, där effekten av den kan leda till stora skillnader i utveckling av lagringssjukdomar. Temperaturen under vegetationsperioden har stor betydelse för fruktens inre kvalitetsparametrar. En hög temperatursumma under celldelning är associerad med högt socker innehåll, men har även visats leda till högre frekvens av fysiologisk nedbrytning i lager. Odlingsplatsens mikro- och makrofaktorer påverkar fruktens mognad, näringsinnehåll, färg, storlek och fasthet.

För att säkerställa en hög kvalitet innan skörd är det enligt Jordbruksverket (2003) viktigt att välja en sort som passar odlingsförhållandena, ha en bra vattentillgång, ogräsbekämpning och korrekt plantavstånd. Även gödslingen är av stor betydelse, där främst de tre makronäringsämnena magnesium, kalium och kalcium är viktiga att ha i balans. För mycket kväve leder till tillväxt av vävnad med lågt torrsbstansinnehåll, som senare kan ge negativ påverkan på lagringsdugligheten. Kalium har en viktig roll i cellens vattenbalans, enzymaktiviteter i cellen och i fotosyntesen (Marschner, 1995). Kalcium stärker cellväggarna i frukten, där brister kan visa sig i lagringssjukdomar och dålig lagringsduglighet (Jordbruksverket, 2003). Kulturåtgärder som ger kraftig vegetativ tillväxt och åtgärder som väsentligt ökar fruktstorleken påverkar kvalitet och lagringspotential efter skörd (Bramlage, 1993). Sådana kulturåtgärder påverkar

mängden kalcium i frukten, där en minskning av mängden kalcium leder till försvagning i cellmembranen. Fysiologiska lagringssjukdomar som mösk och pricksjuka beror på kalciumbrist. Wolk *et al.* (1998) visade att koncentrationen av kalcium och Ca/K-kvoten i frukten avgör risken för fysiologisk sjukdom i lager. Risken för olika fysiologiska sjukdomar kan minskas genom att använda sig av svagväxande grundstam, kort lagring av frukt från unga träd, ha en balans i vattentillgång och att göra sommarbeskärning för att förbättra ljusspridning (Bramlage, 1993). Tahir *et al.* (2007) visade att lagringspotentialen för äpple kan förbättras genom att bestämma den mest aktiva trädåldern, välja korrekt tid för beskärning och att justera mängden kvävegödsel.

En effektiv pollination är nödvändig för äppelproduktion, både med avseende på avkastning och kvalitet (Garratta *et al.*, 2014). Effektiv pollination medför högre fruktsättning och fler frön. Antalet frö i frukten är av betydelse för fruktens lagringspotential, där flera frön ökar mängden kalcium i frukten och därmed ökar dess förmåga att bibehålla kvalitet efter skörd (Bramlage, 1993).

2.3.2 Vid skörd

Tidpunkten för skörden har inverkan på fruktens kvalitet och lagringspotential. Ericsson (1982) visar i ett försök med de tre äpplesorterna 'James Grieve', 'Lobo' och 'Ingrid Marie' att ett par veckors senareläggning av skörden kan förändra kvalitet och avkastning väsentligt. Vid tidig skörd ökar risken för skördeförluster, otillfredsställande smak och arom, sämre utveckling av täckfärg, små frukter och fysiologiska lagringssjukdomar (Sass, 1993). Sen skörd påverkar lagringsdugligheten negativt med kortare lagringstid och större risk för lagringsrötor och mösk. Fruktköttet hos sent plockad frukt mjuknar snabbare och har därför sämre hållbarhet utanför lagret. Att skörda frukten vid optimal mognad ger den bästa lagringsdugligheten till en tillfredsställande ät-upplevelse.

Stärkelsen i frukten omvandlas till socker under fruktmognaden och är som lägst i slutet av mognadsfasen (Jackson, 2003). Även syrahalten minskar med fruktmognad. Detta gör att frukt skördad för tidigt kommer ha höga halter av stärkelse och syra, medan den har låg halt socker. Även de flyktiga ämnen som utgör fruktens arom utvecklas sent under fruktmognaden. Detta gör att smaken hos för tidigt plockad frukt inte

kommer vara tillfredsställande för konsumenten. Den viktiga färgen som är karakteristisk för många äpplesorter beror på syntes av antocyaner och synliggörande av karotenoider. Tydligast blir det när klorofyllet bryts ned, vilket sker i slutet av fruktmognaden. Förändringar i fruktköttets karaktär sker även i mognadsfasen, då en minskning i fruktköttfastheten sker. Små frukter blir ett problem vid för tidig skörd, då frukterna inte haft tillräcklig tid att tillväxa. Fysiologiska störningar, som skalbränna, uppkommer bland annat vid för tidig skörd (Tromp *et al.*, 2005).

Frukt som skördas sent har en lägre lagringspotential, eftersom den påverkas av att frukten då nått klimakteriet. Vid klimakteriet ökar eten-produktionen som i sin tur påskyndar flera enzymatiska processer som gör att frukten åldras snabbare (Salunkhe & Desai, 1984). Detta gör att lagringstiden för frukten blir kortare, då fruktens åldrande påverkar dess färg, textur och smak. Detta leder i sin tur till att frukten inte längre uppfyller de kvalitetskrav konsumenten har.

Maskinell skörd av äpplen innebär ofta att frukten får skador, så som stötskador och skador i skalet (Ryall & Pentzer, 1982). För att få frukt med bra kvalitet till färskvarumarknaden som går att lagra måste frukten därför plockas för hand. För att bibehålla en bra kvalitet i lager bör frukten plockas försiktigt med stjälken kvar. Frukten bör vara ren, oskadd, torr, fri från skorv, annan svampsjukdom och skadegörare och fri från mekanisk skada (Sass, 1993). Frukt som har skador i skalet, pricksjuka eller andra skador som senare i lager kan utvecklas till rötter bör inte plockas in för lagring. De metoder som främst används i Sverige idag är den traditionella plockpåsen, och de mer maskinellt utvecklade Pluck-O-Track, plocktåg, och Conveyor Harvest (Tahir, 2014). Dessa metoder används för att underlätta handplockning.

Att transporten av den skördade frukten görs försiktigt är precis lika viktigt som att skörda frukten försiktigt (Sass, 1993). Det är därför viktigt att ha en bra organisation kring transport, att bingarna hanteras korrekt och transportvägar är väl utformade för att inte skapa för mycket vibrationer som gör åverkan på frukten (Tahir, 2014).

Perioden mellan plockning och nedkylning bör vara så kort som möjligt för att bibehålla kvaliteten hos den plockade frukten (Tahir, 2014). Därför bör skörden ske när det är svalt och inte lämnas i solen efter plockning.

2.3.3 Efter skörd

När frukten sitter på trädet får den energi från fotosyntesen och vatten som tas upp från trädets rötter. Respirationen fortgår efter frukten skördats och energirika molekyler och vatten förbrukas (Tromp *et al.*, 2005). När dessa beståndsdelar inte längre ersätts av trädet bryts de istället ner av fruktens egna reserver och därmed påskyndas fruktens åldrande och kvaliteten försämras. De energirika molekyler som bryts ner är inte bara kolhydrater, utan även fetter och syror. Förlusten av dessa ämnen påverkar fruktens kvalitetsegenskaper, så som fasthet, smak och färg. För att minimera dessa förluster måste respirationshastigheten hålla en låg nivå och vattenavdunstning bör minskas.

Alla kemiska reaktioner är temperaturstyrda, så även respirationshastigheten. Enligt Tahir (2014), ger en ökning med 10 grader, upp till 30 °C, en ökning i respirationshastighet med 100-200%. Etenproduktionen, som påskyndar åldrandeprocessen hos äpplen, påverkas även av temperaturen, där en minskad temperatur ger mindre mängd producerad eten. Transpirationen fortsätter efter skörd, och frukt som mister mer än 5 % av sin färskvikt börjar skrupna och mista sin kvalitet (Tromp *et al.*, 2005). Det är därför viktigt att ha en optimal hög luftfuktighet i lager för att minska dessa förluster. Vattenavdunstningen minskar även med lägre temperatur.

För att ytterligare minska respirationen hos frukt kan även atmosfärens sammansättning ändras (Sass, 1993). En ökad mängd koldioxid och minskad mängd syre gör att respirationen och etenproduktionen hämmas (Wills *et al.*, 2007). Att välja CO₂- respektive O₂-sammansättning beroende på sort är viktigt för att få bra resultat. Olika sorter har olika toleransnivåer för låg syre/hög koldioxid, där fel betingelser kan orsaka fysiologisk skada.

2.4 Förluster

De förluster som är av vikt i äppelodling sker efter skörd. Förlust kan mätas som en minskning i vikt av mängden frukt som är tillgänglig för konsumtion (Salunkhe & Desai, 1984). Efterskördsförluster kan delas in i två kategorier, fysisk förlust och kvalitetsförlust (Wills *et al.*, 2007). De kan enligt Tromp *et al.* (2005), även delas in i de tre kategorierna; mekaniska skador, fysiologiska sjukdomar och svampangrepp.

Fysisk förlust kan uppstå av mekanisk skada, skada från insekter, fåglar eller patogener, samt viktnedgång på grund av evaporationen av vatten i fruktvävnader. Detta förändrar utseende, smak och textur, vilket gör att frukten inte längre är tilltalande för konsumenten. Fysiologiska sjukdomar beror på brister i fruktens ämnesomsättning, som orsakas av miljö- och näringsmässiga förhållanden som inte är lämpliga för frukten. Det är störningar i trädets metabolism som ger dessa missförhållanden (Pierson *et al.*, 1971). Inre nedbrytning av fruktköttet så kallad mösk, mjuk skalbränna och pricksjuka är vanliga fysiologiska sjukdomar som orsakar förluster för äpplen i Sverige (Tahir, 2016 enl. meddelande).

Mjuk skalbränna karaktäriseras av bruna mjuka områden i skalet med skarpt definierade kanter (Tahir, 2006). Under skalet i det skadade området är fruktköttet mjukt och missfärgat brunt. Sjukdomen är relaterad till oxidationen av fettsyror och onormal respiratorisk metabolism, och sker oftare i frukt plockad i ett sent mognadsstadium som lagras i olämplig temperatur.

Mösk visar sig som inre nedbrytning av fruktköttet, vilket blir brunfärgat, mjöligt och svampigt (Tahir, 2006). Även skalet blir missfärgat och frukten kan i ett senare stadium spricka. Mösk är associerad med hög respirationshastighet och kalciumbrist.

Den vanligaste patologiska förlusten under äppellagring orsakas av svampangrepp. Angrepp av svamp sker med en inokulation av sporer antingen i en skada på frukten eller genom lenticeller. De flesta svampangrepp sker på frukt innan skörd, vid skörd, vid hantering och frakt (Ferree & Warrington, 2003). Det är därför viktigt att hantera frukten försiktigt så att skador inte uppstår och att använda sig av rena redskap som inte sprider svampsporer. De viktigaste lagringssjukdomar som orsakas av svampinfektioner är fruktmögel (*Monilinia fructigena*), Gloesporium-röta (*Neofabraea* eller *Colletotrichum*), grönmögel (*Penicillium expansum*) och gråmögel (*Botrytis cinerea*) (Tahir, 2014).

Fruktmögel orsakas av att svampen *M. fructigena* tränger sig in i frukten genom skador i skalet, som orsakats av insekter eller stötskador (Tahir, 2006). Infektionen visar sig sedan som bruna fläckar täckta med brun-vita koncentriska sporkolonier.

Gloesporium-röta kan orsakas av två olika svampinfektioner *Colletotrichum sp.* (bitterröta) eller *Neofabraea sp.* (lenticellröta). I bitter röta visas skadan som små, bruna, lätt insjunkna lesioner. Rötter som utvecklats i lager blir ofta större och kan producera rosa-vita blöta spormassor. Lenticell rötter utvecklas ofta långsamt i låga temperaturer och dyker upp senare under lagringsperioden. Skadan är ofta bruna fläckar med en ljusare mitt, vilka består av svagt insjunken vävnad som känns fast vid tryck.

Grönmögel orsakas av svampen *P. expansum*, skadorna karakteriseras av den grönbå färg som uppkommer vid angrepp. Det skadade området blir mjukt och utvecklas snabbt vilket gör att hela frukter ofta blir förstörda (Tahir, 2006). Grönmögel sprids i luften av dess gröna konidier och skador uppkommer ofta i slutet av lagringsperioden.

Mekaniska skador i form av stötskador och punktering av skalet är inte bara oattraktivt för konsumenten utan innebär även en ökad risk för svampangrepp (Tahir, 2006). Sådana skador uppkommer genom tryck, stötar och vibrationer vid hantering i alla steg från skörd till försäljning. För att undvika förluster är det därför viktigt att minska det tryck som frukten utsätts för och att implementera en mer försiktig hantering i alla led.

2.5 Bestämning av optimal skördetidpunkt: destruktiva och icke-destruktiva metoder

Frukt som skördas när som helst under fruktmognaden kan sägas ha nått en viss mognadsgrad (Fidler *et al.*, 1973). Mognadsgraden för en frukt vid skörd har stor påverkan på dess reaktion på lagringsförhållanden. Äpple som en klimakterisk frukt måste plockas under pre-klimakterieperioden, när frukten visar en svag ämnesomsättningsprocess. Det vill säga innan respirationsnivån och etenproduktionen ökar (Kader, 1999). För tidigt plockade äpplen kan inte nå optimal extern samt intern kvalitet. Medan sent plockade äpplen visar låg lagringspotential och tappar snabbt kvalitet och livsmedelsvärde (Peirs *et al.*, 2002). Därför har bestämning av optimal skördetidpunkt stor effekt på fruktens lagringspotential.

Tahir (2012) beskriver i en rapport att det finns två delperioder under mognadsfasen, *trädmognad* (fysiologisk mognad) och *ätmognad* (hortikulturell mognad). Fukt som ska lagras en längre tid bör plockas i den fysiologiska mognaden. Fukt som endast ska lagras en kortare period eller konsumeras bör plockas i den hortikulturella mognaden, dvs. när frukten nått klimakteriestadiet.

Mognadsnivån kan exakt utvärderas med mätning av etenproduktionen eller respirationshastigheten, där en minimal eten- respektive koldioxidproduktion visar att frukten är i trädmognad (Wills *et al.*, 2007). Eftersom processen för att avgöra dessa parametrar är dyra och kräver professionell personal kan bestämningen av den optimala skördetidpunkten göras med hjälp av alternativa mognadsindex, vilka kan delas in i de två kategorierna traditionella index och moderna index.

2.5.1 Traditionella index

Det finns flertalet traditionella metoder för att ta reda på den optimala skördetidpunkten (bland annat antal dagar efter blomning, fruktköttets färg, utveckling av täckfärg och fruktutseende), dock så kan inget av dem användas ensam för att få en korrekt bild av fruktens mognadsgrad (Salunkhe & Desai, 1984). Till exempel så varierar antalet dagar efter blomning mycket (Salunkhe & Desai, 1984; Fidler *et al.*, 1973), där samma sort som odlas på olika platser kan variera med över 20 dagar (Fidler *et al.*, 1973).

2.5.2 Moderna index, destruktiva och icke-destruktiva metoder

2.5.2.1 Destruktiva metoder

Förutom respirationsnivå och intern etenkoncentration, förändras flera fysiska och biokemiska fruktegenskaper under mognaden, såsom en minskning i fruktköttfasthet, syra och klorofyll, samt en ökning av antocyaner, sockerhalt och lösligt pektin (Lal Kaushal & Sharma, 1995). De förändringar som bedöms med destruktiva metoder brukar användas som mognadsindex, t.ex. löslig torrsubstans, titrerbar syra, kvoten av socker/syra, stärkelsenedbrytning, färgutveckling (nedbrytning av grundfärg), och fasthet (Fidler *et al.*, 1973).

Löslig torrsubstans mäts med en refraktometer, vilken visar mängden lösliga ämnen i fruktsaften (Tahir, 2006). Fruktsens stärkelseinnehåll bedöms genom att skära ett tvärgående tvärsnitt av äpplet och doppa det i en jod-lösning. Stärkelsen i frukten färgas då och genom att jämföra med en infärgningskarta stärkelsenedbrytningen i frukten avgörs. Färgen bedöms visuellt med hjälp av en färgkarta för att avgöra klorofyllnedbrytning, och därmed hur andra färgämnen blir synliga. Fruktsens hårdhet, eller fasthet, mäts med en penetrometer, vilken punkterar fruktköttet under ett långsamt tryck. Penetrometen visar då vilken kraft som krävs för att trycka en kolv av en viss diameter ett viss djup in i fruktköttet.

Eftersom den optimala skördetidpunkten varierar mycket, med sort och odlingsplats, är det viktigt att använda sig av olika mognadsindex för att avgöra när skörden bör ske. Många odlare förlitar sig fortfarande på gamla kunskaper, så som erfarenheter från mångårig odling, och visuella bedömningar (Tahir, 2014), men för att få en mer rationell odling, bör moderna metoder och index som inte är subjektiva utan bestämmer skördetidpunkten mer exakt användas. I slutet av 90-talet togs en mätmetod fram av den tyske forskaren J. Streif, som är en kombination av flera mognadsindex: Fasthet / (socker x stärkelse) (Streif, 1996). Detta index visades vara specifikt för varje sort, men inte starkt beroende av odlings- eller klimatförhållanden (DeLong *et al.*, 1999). Metoden beskriver konsekvent den fysiologiska mognaden när frukten mäts över den senare delen av växtsäsongen och under skörden.

Streif index kan användas som ett mått på mognadsgrad för lagring, där specifika värden för varje sort visar på vilken lagringsteknik som ger den bästa potentialen för frukt med hög kvalitet efter lagring. Tahir (2012) visade att Streif index för 'Ingrid Marie' bör vara mellan 0,14 och 0,24 för frukt som ska lagras i ULO-lager, medan värdet bör vara mellan 0,16-1,19 för 'Santana'. Generella optimala värden för Streif index vid ULO-lagring är 0,18-0,22, och vid kylagring 0,11-0,17, medan frukt som har ett Streif index lägre än 0,11 inte lämpar sig för lagring under en längre period (Tahir 2014).

2.5.2.2 Icke-destruktiva metoder

Parametrarna för Streif index fastställs med olika destruktiva och tidskrävande metoder, på ett godtyckligt urval av frukt. Eftersom de analyserade frukterna sällan

representerar hela variationen i mognad inom odlingen, blir Streif index ett trubbigt instrument, och dess användande kan resultera i betydande bortfall av frukt under lagringen (Tahir och Vangdal, 2016)

Det finns för närvarande endast ett fåtal instrument som mäter specifika fruktkvalitetsparametrar på fältet eller i packeriet utan att skära sönder frukten. Flera metoder som använder sig av ljus i olika former har tagits fram för att bedöma kvalitet och mognad hos äpplen. I en artikel av Herold *et al.* (2005) beskrivs en ny metod, (*partial light transmittance measurements*). Det är en icke-förstörande teknik som tagits fram för att kunna förbättra noggrannheten för bestämningen av den optimala skördetidpunkten. *Near-infrared spectroscopy* (NIR) är en metod som kan användas för att bestämma sockerinnehållet i frukt, genom att reflektera ljus i regionen mellan 800–1700 nm (Lu *et al.*, 2000).

Nyligen har en icke-destruktiv fruktmognadsmätare (DA-meter) utvecklats och testats i flera länder. DA-mätaren är en bärbar spektrometer som kan övervaka fruktmognaden med hög precision genom att mäta klorofyllets nedbrytning (skillnaden i absorbans mellan 670 och 720 nm) under skalet (Nyasordzi *et al.*, 2013). DA-värdet minskar successivt under fruktmognaden, och når ett minimum när frukten är helt mogen. Varje fruktslag och sort har ett specifikt DA-värde vid olika mognadsfaser. Dessa värden påverkas inte av olika åtgärder på fält eller efter skörd. Detta är en stor fördel jämfört med andra icke-destruktiva tekniker som kräver åtminstone årlig omkalibrering.

2.6 Bestämningen av fruktlagringspotential

Den optimala skördetidpunkten avgör den skördade fruktens potential för lagring. Dessutom har lagringsperioden en stor effekt på fruktkvaliteten vid försäljning. Därför är det viktigt att kunna bestämma när lagringsperioden skall avbrytas, för att inte fruktkvaliteten ska påverkas negativt (Tromp *et al.*, 2005).

Streif index baseras på stärkelseinnehållet, men det finns inte klara skillnader i stärkelseinnehåll mellan frukter under lagring. Därför kan Streif index inte användas för att bestämma fruktens mognad i lager och därmed när fruktlagringen bör upphöra.

Nya metoder har tagits fram för att på ett icke-destruktivt sätt kunna ta reda på mognadsgraden för att bestämma lagringspotentialen för äpplen. DA-mätaren har utvärderats som ett verktyg för att bestämma lagringspotential hos äpple även under lagring (DeLong *et al.*, 2014). Enligt Nyasordzi *et al.* (2013) kan DA-mätaren användas i fält för att fastställa den optimala skördetidpunkten, i packeriet för en noggrann sortering efter mognadsgrad, och under kyl- respektive ULO-lagring för att bestämma fruktens lagringspotential.

3 Syfte och frågeställning

Målsättningen med att bestämma den optimala skördetidpunkten och lagringsdugligheten är att ta fram en långsiktig strategi för att utveckla den svenska äppelindustrin. För att kunna uppnå det bör optimal skördetidspunkt och lagringsduglighet för de viktigaste fruktslagen och sorterna kunna bestämmas med noggranna och enkla metoder. En sådan strategi kan tillgodose marknaden med högkvalitativ frukt och kan förbättra den svenska fruktens konkurrensförmåga på marknaden.

Syftet med detta arbete var att utvärdera användningen av ett icke-destruktivt, praktiskt och korrekt instrument, DA-mätare, för att bestämma skördetidpunkten och lagringspotentialen för två äppelsorter, 'Aroma' och 'Discovery'. Specifikt DA-värde för de testade sorterna kommer även att bestämmas, för att därefter kunna användas årligen av odlare och rådgivare.

Hypotesen är att traditionella destruktiva mognadsindex kan ersättas med icke-destruktiv metod (DA-mätare) för att bestämma optimal skördetidpunkt och lagringspotential för de två äpplesorterna.

4 Material och metod

4.1 Avgränsning

Användning av ULO-lagring behandlas inte i detta arbete eftersom den metoden kräver längre tid än vad kursperioden räcker till. Arbetet behandlar endast i korta drag fruktens uppbyggnad och fysiologiska processer.

4.2 Växtmaterial

Undersökningen genomfördes på sorterna 'Aroma' och 'Discovery' under 2016. Frukträden som användes i försöket följde vanliga skötselrutiner för en IP-fruktodling, när försöket inleddes var träden inte äldre än 20 år. Försöket inleddes i augusti, då 10 försöksträd i tre olika rader per sort valdes ut slumpmässigt i en relativt stor odling vid Solnäs gård i Fjellie utanför Lund. Frukten plockades från olika delar på trädet på varje träd, högt och lågt i kronan, öst och väst, yttre och inre kronan. Frukten delades sedan slumpmässigt in i tre block. Proven plockades på detta sätt för att representera de olika variationerna i fruktmognad. Frukten allmänna utveckling bestämde tidpunkten för plockning av det första provet. Sedan plockades frukten enligt tabell 1:

Tabell 1. Plockningstider för äpplesorterna 'Discovery' och 'Aroma'.

Sort	Plockningstid för prov	Plockningstid för lagring	Kontroll efter lagring
Discovery	5, 8, 12, 18, 22 och 28 augusti och 02 september	8/08, 12/08, 22/08 och 02/09	01/11 och 07/11
Aroma	18, 22 och 28 augusti samt 02, 08, 12 och 19 september	22/08, 02/09, 08/09, 12/09 och 19/09	15/11, 21/11, 25/11, 28/11

Trettio frukter per sort plockades vid varje tillfälle med DA-värden i olika intervall, för att bedöma mognadsgrad enligt respirationshastighet, fasthet, löslig torrs substans, stärkelsenedbrytning samt klorofyllnedbrytning. En gång per vecka plockades 60 frukter per sort, som hade ett DA-värde inom ett visst intervall, för lagring. Frukten transporterades från Solnäs gård till Alnarp där den analyserades och lagrades.

4.3 Analyser

4.3.1 Bedömning av mognadsgrad vid skörd

4.3.1.1 Mognadsgrad enligt I_{AD} värde

Denna bedömning gjordes med hjälp av en DA-meter (Modell FRM01, Italy). DA-metern mäter (I_{AD}), den skillnad i absorbans mellan två våglängder (670 och 720 nm), som ligger nära absorbanstoppen för klorofyll a. Och kan därmed användas som ett mått för fruktens klorofyllnedbrytning. Varje frukt mättes på två sidor och ett medeltal av dessa noterades.

4.3.1.2 Mognadsgrad enligt respirationshastighet

Det noggranna mognadsindexet, respirationshastighet, användes som jämförelsestandard. Respirationshastigheten bestämdes genom att mäta fruktens koldioxidproduktion under en bestämd tid. Detta gjordes med hjälp av en CO₂-mätare (Bilaga 1). Varje frukt vägdes och sattes i en tätslutande glasburk i 1h, sedan kopplades burken till CO₂-mätaren och mängden producerat koldioxid mättes.

4.3.1.3 Mognadsgrad enligt fasthet, stärkelsenedbrytning och total löslig torrs substans

Fruktkötsfastheten mättes med en penetrometer (Modell FT 327, Effigi, Italy, plunger diameter 11,1 mm). Den trycktes in i en punkt i äpplet (utan skal) under två sekunder till ett visst djup (1 cm). Två sidor på varje äpple mättes och ett medeltal av dessa

noterades. Den lösliga torrsubstansen mättes som Brix° med en refraktometer (Atago, Japan), där några droppar av fruktsaften lästes av för mängd löslig torrsubstans vid 20°C. Stärkelsenedbrytningen mättes genom att skära en tunn skiva av äpplet från ett tvärgående tvärsnitt och doppa den i en jodlösning. Jodlösningen gör att stärkelsen i frukten färgas lila-blå. Därefter jämfördes stärkelse-infärgningen med en färgkarta för att avgöra stärkelseinnehåll (Bilaga 2).

Streif index räknades sedan ut av dessa parametrar (Streif, 1996), enligt formeln:

$$\text{Streif index} = \text{fasthet} / (\text{torrsubstans} \times \text{stärkelse})$$

4.3.2 Bedömning av mognadsgrad och lagringspotential

Sextio frukter av varje sort per vecka plockades och lagrades i kylskåp med temperatur 2 °C och 90 % RH, i minst 11 veckor upp till 12 veckor för 'Discovery', och 12 veckor för 'Aroma'. Efter lagring valdes 15 frukter från vardera plockningstillfället ut för analys. De tidigare bedömda parametrar (vikt, I_{AD} , fasthet, respirationshastighet och löslig torrsubstans) mättes återigen för att bedöma mognadsgrad efter lagring och se vilka kvalitetsförändringar som skett med frukten. Eventuella lagringsförluster bedömdes visuellt enligt Tahir (2014).

4.4 Statistik

Alla resultat bearbetades statistiskt. Varje fruktparameter vid varje undersökningstillfälle bearbetades för sig, med hjälp av variansanalys (ANOVA). Programmet MINITAB 17 användes. Signifikanta skillnader mellan olika resultat provades med Tukey-test. Pearson korrelationskoefficienter samt regression beräknades för att visa förhållandet mellan de olika faktorerna (oberoende och beroende kvalitetsparametrar).

5 Resultat

5.1 Bestämning av fruktmognadsgrad med destruktiva metoder

För att bestämma fruktens mognadsgrad undersöktes de olika parametrar som förändras under fruktens mognadsfas. De destruktiva metoder som använts i försöket visar alla hur fruktens sammansättning ändrats under skördeperioden. För båda äpplesorterna minskade fastheten medan sockerhalten, stärkelsenedbrytningen och Streif index ökade. De största förändringarna skedde för båda sorterna i stärkelsenedbrytning och Streif index (Tabell 2).

Tabell 2. Förändringar (i procent) i olika mognadsindex under plockningsperioden.

Sort	Discovery	Aroma
Fasthet	34,3	20,5
Löslig torrs substans	22,6	11,6
Stärkelsenedbrytning	206,0	97,5
Streif index	86,2	64,9

De traditionella destruktiva metoderna som använts i försöket jämfördes med plockningstiden (dvs. mognadsgrad) för att se korrelationen dem emellan. Försöket visar att för äpplesorten 'Discovery' har plockningstiden mycket stark negativ korrelation med fastheten, vilket innebär att fruktköttfasthet minskar med tiden. Det visar även en mycket stark positiv korrelation med stärkelsenedbrytning (SNB), som betyder att nedbrytningen av stärkelse ökar med tiden, så att det vid ett senare plockningstillfälle är mindre stärkelse kvar i frukten. Även Streif index och total löslig torrs substans korrelerar med plockningstiden, där Streif har stark negativ korrelation och total torrs substans har positiv korrelation. Den totala lösliga torrs substansen ökar med tiden, medan Streif index minskar (Tabell 3). Tydligast korrelation visar fasthet, stärkelsenedbrytning och Streif index.

Även för 'Aroma' visar alla destruktiva metoder korrelation med plockningstiden, fasthet, Streif index och stärkelsenedbrytning visar tydligast korrelation. Fasthet och

Streif index visar stark negativ korrelation, medan stärkelsenedbrytning visar stark positiv korrelation. Den totala lösliga torrsubstansen och respirationshastigheten korrelerar positivt med plockningstiden, dock finns inte stark korrelation (Tabell 4). Dessa korrelationer betyder att fastheten och Streif index minskar med senare plockningstid, medan stärkelsenedbrytningen ökar. Respirationshastigheten och den totala torrsubstansen ökar med tiden.

Tabell 3. Korrelationen mellan olika destruktiva mognadsindex och skördetidspunkter, 'Discovery', 2016.

Oberoende variabel	<i>P</i>	<i>r</i>	R^2	Ekvation
Fasthet	0,000	- 0,948	89,9	9,41-0,49x
Löslig torrsubstans	0,000	0,731	53,5	10,04+0,31x
Stärkelsenedbrytning	0,000	0,958	91,7	1,614+0,98x
Streif index	0,000	- 0,889	79,0	0,387-0,05x
Respirationshastighet (koldioxid)	0,000	- 0,931	86,8	1,776-0,23x

Tabell 4. Korrelationen mellan olika destruktiva mognadsindex och skördetidspunkter, 'Aroma', 2016.

Oberoende variabel	<i>P</i>	<i>r</i>	R^2	Ekvation
Fasthet	0,000	- 0,893	79,8	8,24-0,23x
Löslig torrsubstans	0,000	0,745	55,5	9,12+0,18x
Stärkelsenedbrytning	0,000	0,849	72,0	2,82+0,44x
Streif index	0,000	- 0,895	80,0	0,60-0,03x
Respirationshastighet (koldioxid)	0,000	0,757	57,3	0,16+0,03x

För att ta reda på vilka av de destruktiva metoderna som visar en mer exakt mognadsnivå, jämfördes de med respirationshastigheten. Respirationshastigheten hos 'Discovery' visade en mycket stark negativ korrelation med stärkelsenedbrytning, en mycket stark positiv korrelation med fastheten och en stark positiv korrelation med

Streif index (Tabell 5). Detta innebär att de mognadsindex som kan användas för att avgöra mognad på det mest exakta sätt för 'Discovery' är Streif index, fasthet och stärkelsenedbrytning.

För 'Aroma' korrelerade alla parametrar med respirationshastigheten. Den lösliga torrsubstansen visade starkt positiv korrelation medan stärkelsenedbrytning och Streif index visade negativ korrelation. För fastheten var det endast en svag negativ korrelation. (Tabell 6). För 'Aroma' är total torrsubstans, Streif index och stärkelsenedbrytning de mognadsindex som avgör mognaden mest exakt.

Tabell 5. Korrelationen mellan olika destruktiva mognadsindex och respirationshastighet (koldioxidproduktionen), 'Discovery', 2016.

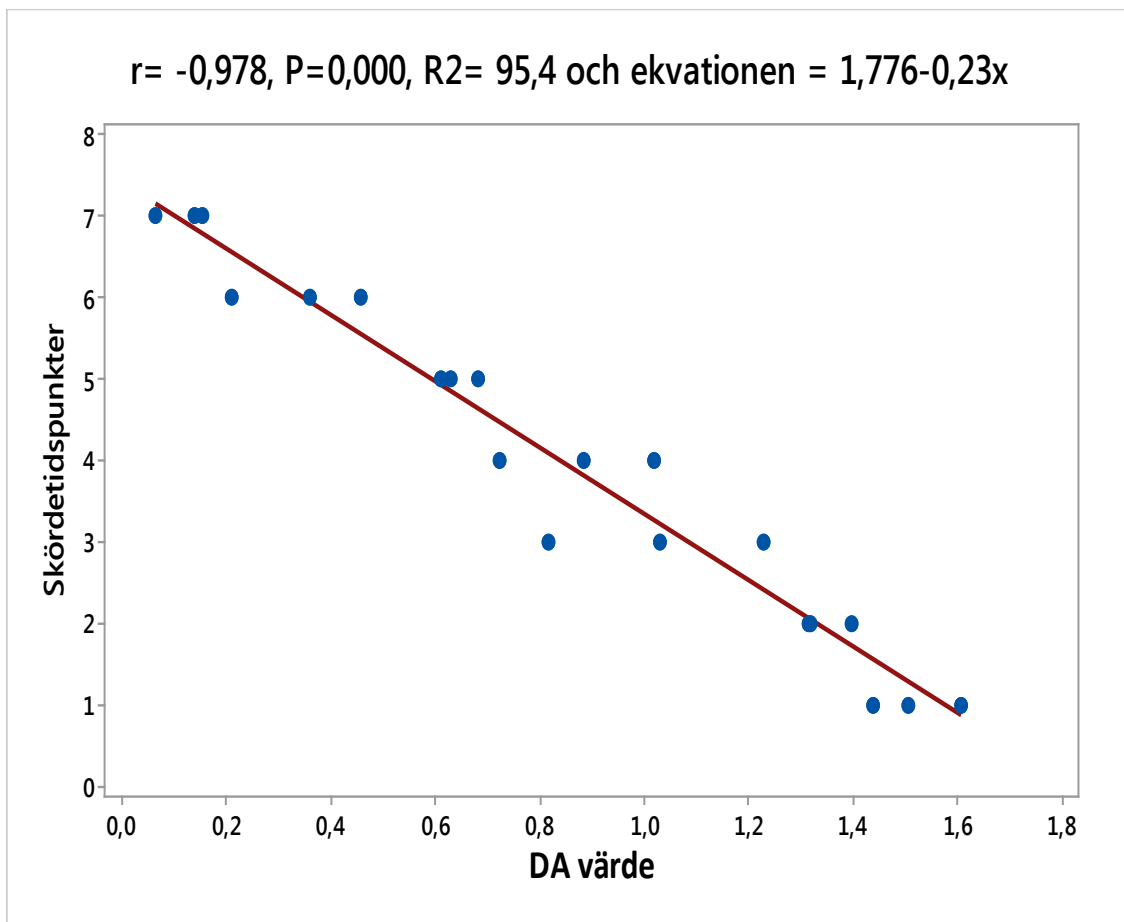
Oberoende variabel	<i>P</i>	r	R ²	Ekvation
Fasthet	0,000	0,851	72,5	5,42+5,96x
Löslig torrsubstans	0,004	- 0,604	36,5	12,45-3,46x
Stärkelsenedbrytning	0,000	- 0,920	84,7	9,83-12,7x
Streif index	0,000	0,782	61,2	-0,041+0,63x

Tabell 6. Korrelationen mellan olika destruktiva mognadsindex och respirationshastighet (koldioxidproduktionen), 'Aroma', 2016.

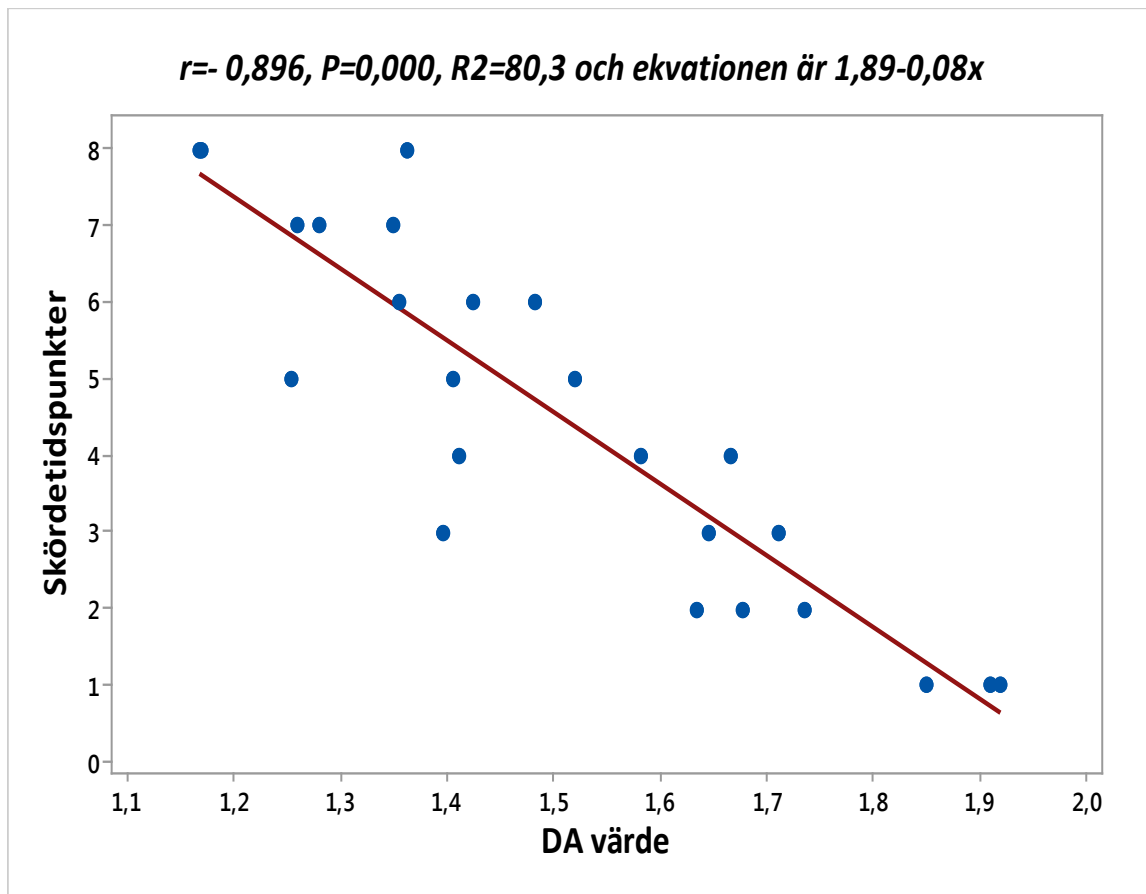
Oberoende variabel	P	r	R ²	Ekvation
Fasthet	0,000	- 0,605	63,3	8,22-3,12 x
Löslig torrsubstans	0,000	0,805	65,0	8,63+3,96 x
Stärkelsenedbrytning	0,000	- 0,757	57,3	1,64+7,89 x
Streif index	0,000	- 0,758	67,4	0,40-0,59 x

5.2 Bestämning av fruktmognadsgrad med I_{AD} värde

Den moderna icke-destruktiva metoden (DA-meter) jämfördes med plockningstiden för att se om mognadsnivån kan bedömas med hjälp av den metoden. För båda sorterna 'Discovery' och 'Aroma' visar I_{AD} en mycket stark negativ korrelation med plockningstider (mognadsnivåer) (Figur 1 och Figur 2). Den negativa korrelationen innebär att det sker en tydlig minskning av I_{AD} med tiden för skördetidspunkten, d.v.s. äpplen har ett högt I_{AD} -värde tidigt i plockningstiden och lägre värde senare i plockningstiden.

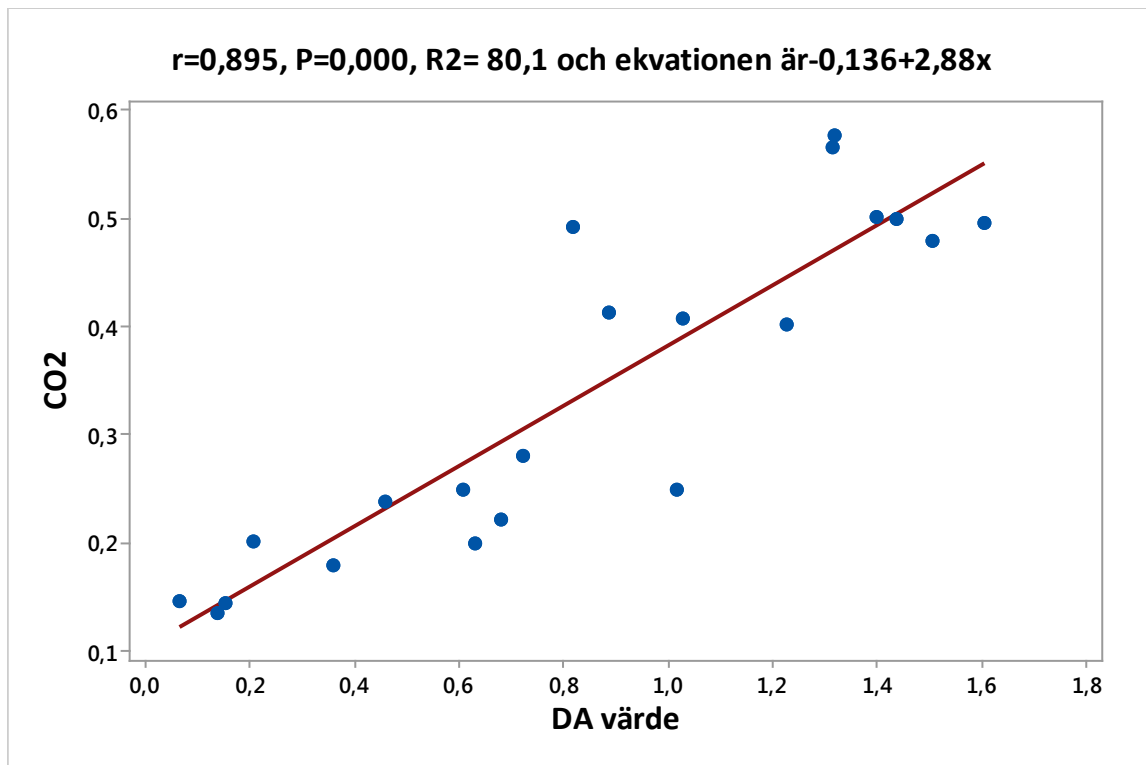


Figur 1. Korrelationen mellan I_{AD} och skördetidspunkter, 'Discovery', 2016.

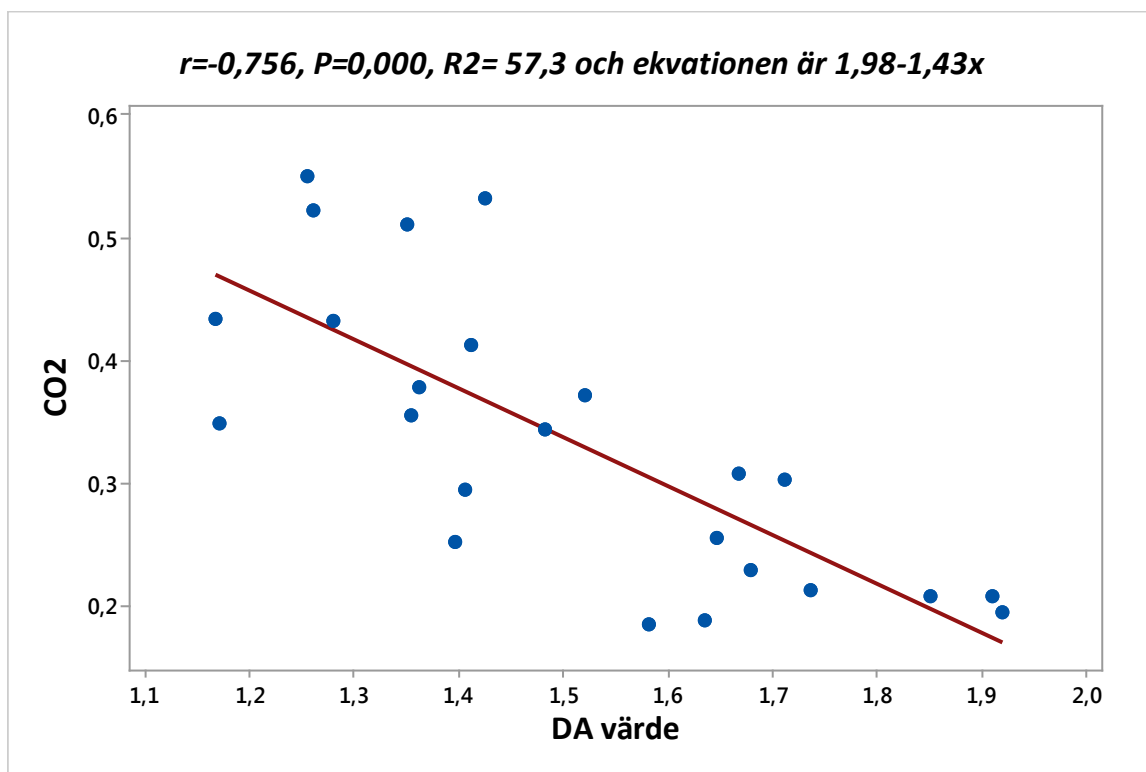


Figur 2. Korrelationen mellan I_{AD} och skördetidspunkter, 'Aroma', 2016.

Respirationshastigheten jämfördes även med I_{AD} för att visa vilken korrelation det finns mellan denna icke-destruktiva metod och den mest noggranna metoden för att avgöra fruktmognad. Där visade 'Discovery' en mycket stark positiv korrelation, och 'Aroma' visade en stark negativ korrelation (Figur 3 och Figur 4). Detta innebär för 'Aroma' att respirationshastigheten är låg vid ett högt I_{AD} -värde, och att ett lågt I_{AD} medför en högre respirationshastighet. Korrelationen för 'Discovery' visar att det vid ett högt I_{AD} är en låg respirationshastighet, och en ökande respirationshastighet vid minskande I_{AD} .



Figur 3. Korrelationen mellan I_{AD} och respirationshastighet (Koldioxidsproduktion), 'Discovery', 2016.



Figur 4. Korrelationen mellan I_{AD} och respirationshastighet (Koldioxidsproduktion), 'Aroma', 2016.

5.3 Jämförelse mellan destruktiva och icke-destruktiva metoder

För att se vilket mognadsindex som har starkast korrelation med I_{AD} -värdet, jämfördes det med de destruktiva metoder som använts i försöket. Resultaten visar att det finns tydlig korrelation mellan alla de destruktiva metoder som använts i försöket och I_{AD} .

För 'Discovery' har fasthet och stärkelsenedbrytning den tydligaste korrelationen med I_{AD} . Fastheten har mycket stark positiv korrelation och stärkelsenedbrytning har mycket stark negativ korrelation (Figur 5 a & c). Även Streif index korrelerar med I_{AD} , med stark positiv korrelation (Fig. 5d). Resultaten visar en tydlig minskning i fasthet med lägre I_{AD} , d.v.s. att frukten blir mjukare vid lägre I_{AD} . Det visar även en tydlig ökning i stärkelsenedbrytning med lägre I_{AD} , vilket innebär att mer stärkelse har brutits ned vid ett lågt I_{AD} . Korrelationen med Streif index innebär att en minskning i I_{AD} -värde även minskar Streif index. De mognadsindex som har tydligast korrelation med I_{AD} för 'Discovery' är även de som visar störst förändring i kvalitet under skördeperioden (främst stärkelsenedbrytning och Streif index) (Tabell 2).

Fig.5a. DA värde & Fastheten, $r=0,951$ $P=0,000$ $R^2= 90,4$ och ekvationen är $5,7+2,06x$

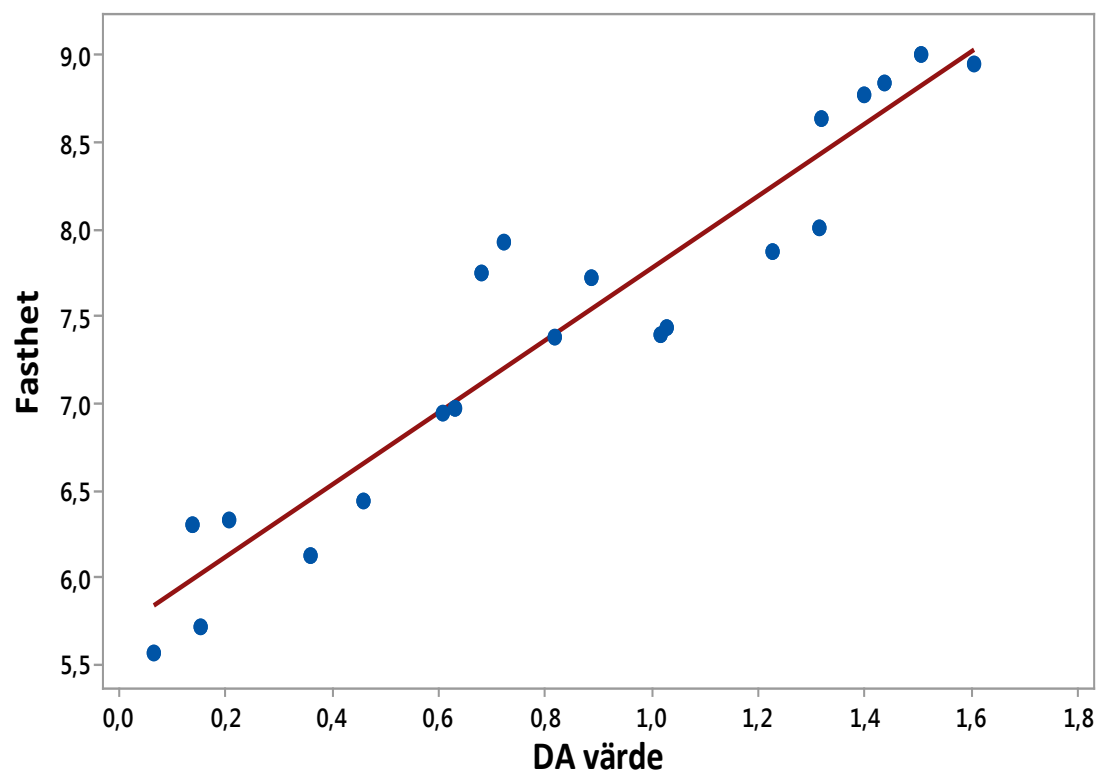


Fig.5b. SSC & DA värde $r=-0,728$, $P=0,000$, $R^2= 53\%$ och ekvationen är $12,37-1,29x$

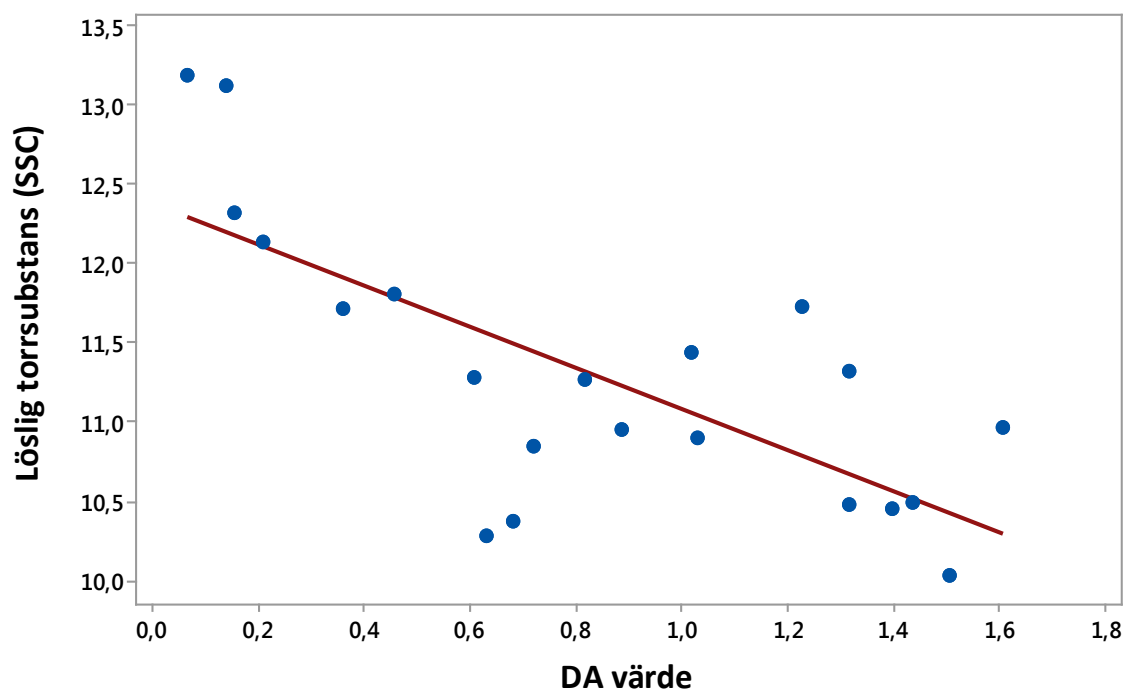
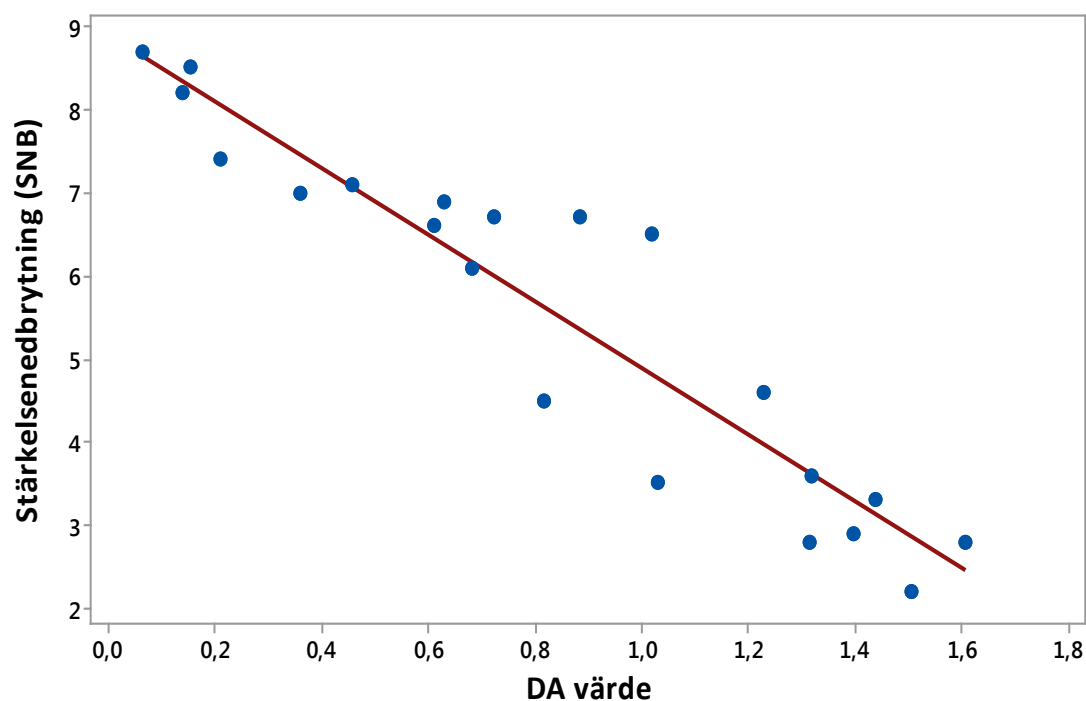
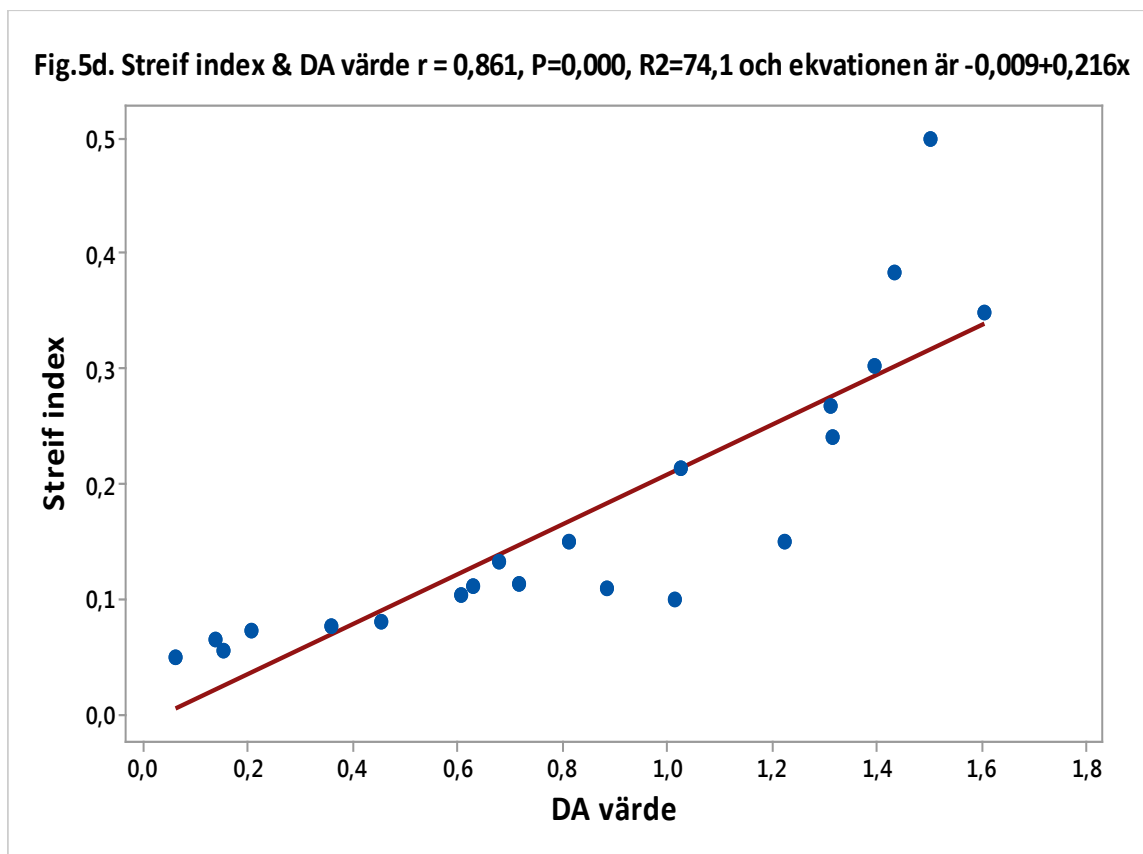


Fig.5c. SNB & DA värde $r = -0,937$, $P=0,000$, $R^2=87,8$ och ekvationen är $8,9-4,01x$





Figur 5. korrelationen mellan destruktiva mognadsindex och I_{AD} , 'Discovery', 2016, vid skörd

För 'Aroma' är det stärkelsenedbrytning och Streif index som har tydligast korrelation med I_{AD} . Korrelationen för stärkelsenedbrytningen är starkt negativ och för Streif index starkt positiv (Fig. 6c & d). Fastheten visar en stark positiv korrelation och den lösliga torrsubstansen visar en negativ korrelation med I_{AD} (Figur 6a & b). Korrelationen mellan I_{AD} och stärkelsenedbrytning visar att ett lågt I_{AD} innebär en högre grad av stärkelsenedbrytning, och vid ett högt I_{AD} är det mer stärkelse kvar i frukten. Korrelationen med Streif index visar att ett högt I_{AD} ger ett högt Streif index, och ett lågt I_{AD} ger ett lågt Streif Index. Fastheten korrelerar även starkt med I_{AD} när det gäller sorten 'Aroma'. Korrelationen emellan I_{AD} och fasthet innebär att frukt med högt I_{AD} -värde är fastare i fruktköttet, vilket sedan minskar med minskande I_{AD} , där ett lågt I_{AD} ger en mjukare frukt. De mognadsindex som har tydligast korrelation med I_{AD} för 'Aroma', d.v.s. Streif index och stärkelsenedbrytning, är även de som visar tydligast kvalitetsförändring vid de olika plockningstiderna (Tabell 2).

Fig.6a. Fasthet & DA värde $r = 0,813$, $P=0,000$, $R^2= 66,2$ och ekvationen är $3,84+2,21x$

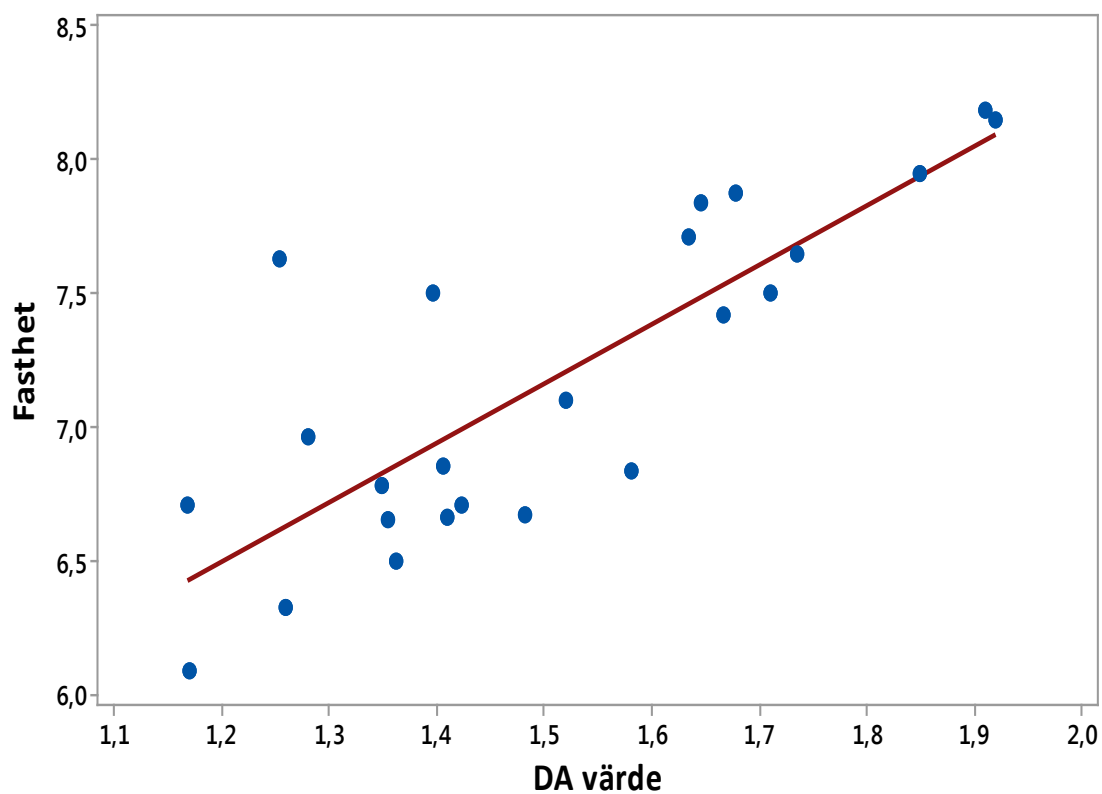


Fig.6b. SSC & DA värde $r=-0,715$, $P=0,000$, $R^2= 51,0$ och ekvationen är $12,75-1,85x$

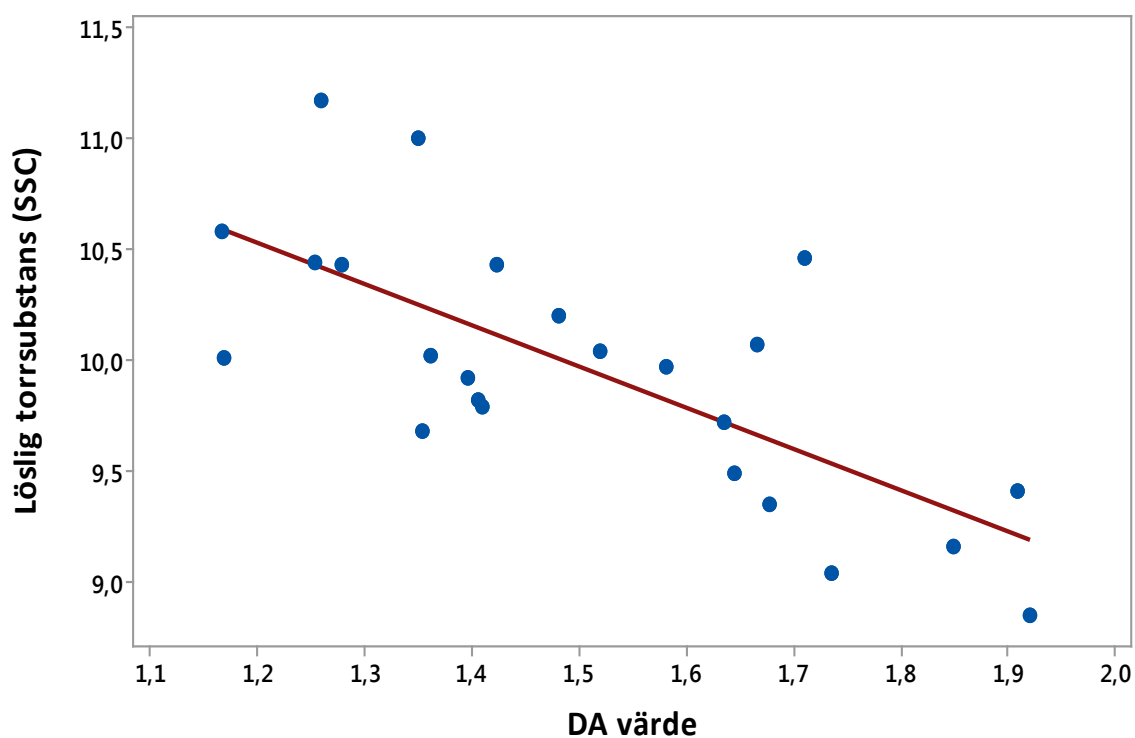


Fig.6c. SNB & DA värde $r=-0,856$, $P=0,000$, $R^2=73,3$ och ekvationen är $11,37-4,7x$

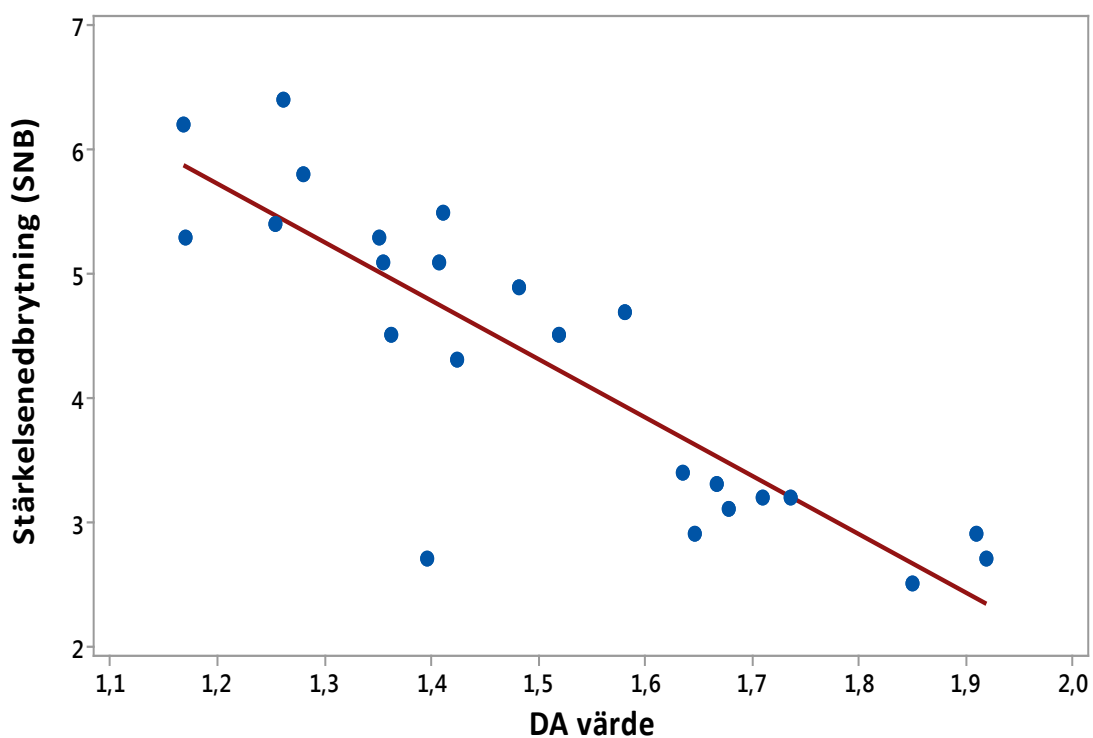
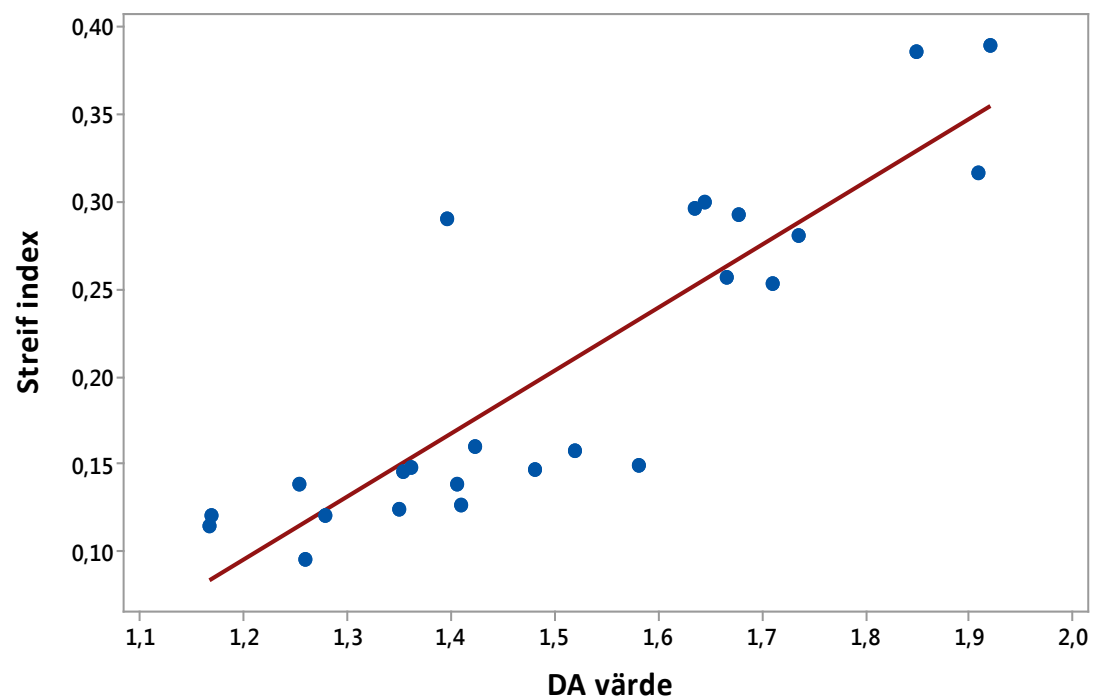


Fig.6d. Streif index & DA värde $r = 0,875$, $P=0,000$, $R^2=76,6$ och ekvationen är $-0,336+0,36x$



Figur 6. korrelationen mellan destruktiva mognadsindex och I_{AD} , 'Aroma', 2016, vid skörd

5.4 Fruktlagringspotential

De försämringar i kvalitet och förluster på grund av svampangrepp och fysiologiska skador som sker under lagring påverkar bedömningen av fruktens lagringspotential. Även minskning i fruktfasthet är en viktig del i kvalitetsbedömningen efter lagring. I detta försök hade 'Discovery' en betydande minskning med 51,9 % i fastheten efter lagring, medan fastheten hos 'Aroma' minskade med 37,0 %. De totala förlusterna på grund av fysiologiska sjukdomar och svampangrepp var störst hos 'Discovery' (8,8 %), medan den för 'Aroma' var (4,4 %). Den förlustorsak som dominerade för 'Discovery' var fysiologisk sjukdom (7,7 %), med vanligast förekommande mjuk skalbränna, mösk och låg temperaturnedbrytning. För 'Aroma' var det svampangrepp som orsakade mest förluster (3,1 %).

Fruktens lagringspotential bedömdes genom att jämföra dess I_{AD} -värde vid skörd med olika kvalitetsparametrar efter lagring. För 'Discovery' visar dess I_{AD} -värde vid skörd en mycket stark positiv korrelation med fruktens utseende efter lagring, både under lång och kortare lagringsperiod. Vid lagring under lång period visar I_{AD} -värdet även en stark negativ korrelation med den lösliga torrsubstansen. Frukter lagrade en kortare period (en vecka kortare) visar negativ korrelation med löslig torrsubstans och förekomsten av fysiologiska sjukdomar. Det visar även stark negativ korrelation med antalet svampangrepp och mängden totala förluster (Tabell 7).

Tabell 7. Korrelationen mellan I_{AD} värde vid skörd och olika kvalitetsparametrar efter lagring, 'Discovery', 2016.

Oberoende variabel	Lagring under lång period		Lagring under kortare period*	
	<i>P</i>	<i>r</i>	<i>P</i>	<i>r</i>
Fasthet	<i>Ns</i>	0,073	<i>Ns</i>	-0,004
Löslig torrsubstans	0,001	-0,827	0,008	-0,720
Utseende (1-10)	0,000	0,969	0,000	0,979
Fysiologiska sjukdomar (%)	<i>Ns</i>	0,018	0,003	-0,771
Svampangrepp (%)	<i>Ns</i>	-0,214	0,000	-0,865
Total förluster (%)	<i>Ns</i>	-0,056	0,000	-0,871

Anm.: * frukterna lagrade en vecka kortare

I_{AD}-värdet vid skörd visar för 'Aroma' en negativ korrelation med förekomsten av fysiologiska sjukdomar, svampangrepp och den totala förlusten efter lagring. Med fruktens fasthet visar I_{AD} endast en svag positiv korrelation (Tabell 8).

Tabell 8. Korrelationen mellan I_{AD} värde vid skörd och olika kvalitetsparametrar efter lagring, 'Aroma', 2016.

Oberoende variabel	P	r
Fasthet	0,041	0,596
Löslig torrs substans	Ns	- 0,547
Utseende (1-10)	0,001	- 0,829
Fysiologiska sjukdomar (%)	0,014	- 0,684
Svampangrepp (%)	0,029	- 0,627
Total förluster (%)	0,001	- 0,674

Tabell 9 och 10 visar hur fruktens lagringspotential påverkas av skördetidpunkten, som bestäms enligt I_{AD}. För 'Discovery' visar ett lågt I_{AD}-värde vid skörd en högre halt av socker i frukten, men även en högre frekvens av svampangrepp och fysiologiska skador efter lagring. Ett högre I_{AD}-värde vid skörd gav däremot lägre sockerhalt, bättre fasthet och mindre frekvens av svampangrepp och fysiologiska skador (Tabell 9). Resultaten för 'Aroma' visar endast en liten förändring av fasthet och löslig torrs substans, efter lagring, vid olika I_{AD}-värden vid skörd. Däremot så är det signifikanta skillnader mellan högt och lågt I_{AD}-värde vid skörd för parametrarna för utseende, fysiologiska sjukdomar och svampangrepp (Tabell 10).

Tabell 9. Inverkan av skördetidpunkt som bestäms enligt I_{AD} värde och fruktens lagringspotential, 'Discovery', 2016.

Tider	I _{AD}		Veckor i kyl-lagring	Fasthet Kg/cm ²	SSC %	Utseende 1-10	Fysiologiska sjukdomar %	Svamp-angrepp %
	Vid skörd	Efter lagring						
08 aug.	1,0-1,5	0,99	11	4,0 a ^z	11,0 b	7,2 a	3,9 c	0,0 c
		0,95	12	3,7 a	10,7 b	5,6 b	10,6 a	0,0 c
15 aug.	0,6-0,99	0,66	11	3,1 a	10,6 b	4,7 bc	4,4 c	0,0 c
		0,60	12	3,1 a	11,2 b	3,1 cd	9,4 ab	2,2 ab
22 aug.	0,3-0,59	0,42	08	3,0 a	11,0 b	3,9 de	5,0 bc	0,0 c
		0,40	09	3,3 a	11,1 b	2,6 e	7,2 abc	1,1 bc
02 sep.	< 0,3	0,14	08	4,0 a	13,0 a	1,0 f	11,1 a	1,1 bc
		0,09	09	3,5 a	13,1 a	1,0 f	10,0 a	3,9 a

Anm.: z. värden som följs med olika bokstäver visar signifikanta skillnader vid P=0,05.

Tabell 10. Inverkan av skördetidpunkt som bestäms enligt I_{AD} värde och fruktens lagringspotential, 'Aroma', 2016.

Tider	I _{AD}		Veckor i kyl-lagring	Fasthet Kg/cm ²	SSC %	Utseende 1-10	Fysiologiska sjukdomar %	Svamp-angrepp %
	Vid skörd	Efter lagring						
18 aug.	1,91-2,2	1,69	12	4,6 a	9,9 b	3,0 b	0,0 b	1,7
28 aug.	1,61-1,9	1,65	12	4,7 a	10,6 ab	6,3 a	0,0 b	0,0
08 sep.	1,25-1,6	1,25	12	4,5 ab	10,9 a	6,7 a	1,1 b	3,3
19 sep	0,91-1,2	1,00	12	4,3 b	10,6 ab	7,3 a	3,9 a	7,3

Anm.: z. värden som följs med olika bokstäver visar signifikanta skillnader vid P=0,05.

6 Diskussion

6.1 Vilket destruktivt index passar de två sorterna för att bestämma trädmognaden?

Respirationshastigheten och etenproduktionen ökar under fruktmognad, därmed kan mognadsnivån avgöras exakt genom att mäta dessa parametrar (Wills *et al.*, 2007). Henze (1983) och Defilippi *et al.* (2004) rapporterade att förändringarna i fruktens kvalitetsparametrar under mognadsfasen (såsom uppmjukning, stärkelsenedbrytning, sötmaökning och minskning av syrainnehåll) sker i en harmonisk utveckling, som äger rum före den snabba ökningen i etenproduktion och respiration (klimakterietoppen). I denna studie minskade fruktköttfastheten och stärkelsehalten medan totala lösliga torrsubstansen ökade i båda sorterna ('Discovery' och 'Aroma') under plockningsperioden. Dessutom visade denna studie tydliga korrelationer mellan plockningstider och destruktiva mognadsindex som beror på ändringar i kvalitetsparametrar. Det bekräftar att dessa destruktiva index är bra metoder för att avgöra mognaden för äpplesorterna (Echeverria *et al.*, 2002; Tahir & Nybom, 2013).

För att se vilka av de destruktiva metoderna som kan visa den mest noggranna mätningen av mognadsnivå, jämfördes korrelationen mellan de metoderna och respirationshastigheten. Resultaten visar att de destruktiva indexen fasthet, stärkelsenedbrytning och Streif index är de som har tydligast korrelation med respirationshastigheten för äpplesorten 'Discovery'. För 'Aroma' är det istället den lösliga torrsubstansen, stärkelsenedbrytning och Streif index som har tydligast korrelation.

De destruktiva index som visar en tydlig ändring med plockningstider visar även tydlig ändring med respirationshastigheten. Det innebär att de index som är mest tillförlitliga att använda för att bestämma fruktmognad hos äpplesorten 'Discovery' är fasthet och stärkelsenedbrytning. För äpplesorten 'Aroma' är det stärkelsenedbrytning och den totala lösliga torrsubstansen som är lämpligast att använda för att avgöra mognadsgraden. Liknande resultat har även visats av Tahir & Nybom (2013), och stödjer därför resultaten i detta försök.

6.2 DA som en icke-destruktiv metod för bestämning av trädmognad

I_{AD} -värdet jämfördes med plockningstiden, för att se om den nya icke-destruktiva metoden kan användas som ett sätt att bestämma den optimala skördetidpunkten. För båda äpplesorterna visade I_{AD} en mycket stark negativ korrelation med plockningstiden. I_{AD} -värdet minskar med tiden (Gutierrez, 2014; Tahir & Vangdal, 2016), på samma sätt som de destruktiva mognadsindexen. Vilket betyder att I_{AD} kan användas som ett index för att visa mognadsgraden hos äpplesorterna 'Discovery' och 'Aroma'.

I_{AD} jämfördes även med respirationshastigheten för att se hur denna mer exakta metod för att mäta fruktmognad korrelerar med den icke-destruktiva metoden. Resultaten visar att I_{AD} -värdet korrelerar med respirationshastigheten för äpplesorten 'Aroma', där en stark negativ korrelation har noterats. Däremot visar denna studie en mycket stark positiv korrelation för 'Discovery'. Att detta försök visar på oväntade resultat för korrelationen mellan I_{AD} och respirationshastigheten för 'Discovery' är på grund av att det är en sommarsort med en kort utvecklingsperiod och därmed även en mycket kort pre-klimakterieperiod, där respirationshastigheten ändrats hastigt (Tahir & Olsson, 2010). Denna snabba förändring har gjort det svårt att avgöra när första plockning bör utföras och därför har pre-klimakterieperioden inte kunnat bestämmas. Dessutom var denna sommar mycket varm, vilket kan ha påskyndat utvecklingen ytterligare. Därför borde provtagningen påbörjats tidigare än den 4 augusti, då detta försök startade.

För 'Aroma' innebär den starkt negativa korrelationen att I_{AD} visar en tydlig ändring med respirationshastigheten och är därför ett index som kan användas som bedömning av mognadsgrad enligt fruktens respirationshastighet. Detta resultat stöds av en tidigare studie av Tahir & Vangdal (2016), som visade en stark korrelation mellan respirationshastighet och I_{AD} .

6.3 Kan DA-mätare ersätta de destruktiva metoderna?

De metoder som används idag för att bedöma fruktmognad är destruktiva. Stickproven som brukar tas i dessa metoder ger inte den verkliga bilden för den varierade fruktmognaden i odlingen. Detta kan påverka kvaliteten och lagringsdugligheten

(Pathange *et al.*, 2006). De icke-destruktiva metoder som finns att tillgå, som även är de som på det mest exakta sättet kan avgöra mognad, respirationshastighet och etenproduktion, är tidskrävande och kräver professionell personal. Dessa metoder är därför inte användbara i en rationell odling (Tahir & Vangdal 2016). För att kunna avgöra en mer exakt fruktmognad på ett rationellt sätt behövs därför en metod som inte är destruktiv och som är enkel att använda.

För att kunna dra slutsatser om den icke-destruktiva metoden, DA-mätare, kan användas som ersättning för de traditionella destruktiva metoder som används vid bestämning av fruktmognad, jämfördes I_{AD} -värdet med dessa. Resultaten i denna studie visar att fastheten och stärkelsenedbrytningen har mycket stark korrelation med I_{AD} , och Streif index har stark korrelation med I_{AD} för äpplesorten 'Discovery'. För "Aroma" har Streif index, fasthet och stärkelsenedbrytning stark korrelation med I_{AD} . Detta innebär att de destruktiva index som är mest tillförlitliga att använda som mognadindex för 'Aroma' och 'Discovery', dvs. stärkelsenedbrytning, fasthet och Streif index, även är de som korrelerar bäst med I_{AD} -värdet vid skörd (Nyasordzi *et al.*, 2013). Detta innebär att DA-mätaren och I_{AD} kan användas som ett index för att bestämma den optimala skördetidspunkten för äpplesorterna 'Discovery' och 'Aroma'.

6.4 Bedömning av fruktens lagringsduglighet med DA-mätare

Fruktens lagringspotential kan utläsas av korrelationen mellan I_{AD} -värdet vid skörd och olika kvalitetsparametrar efter lagring. Studien av Tahir och Vangdal (2016), visade att frukt med högre I_{AD} -värde hade bättre lagringspotential. För äpplesorten 'Discovery' ger ett högre I_{AD} -värde vid skörd mindre förekomst av fysiologiska sjukdomar och svampangrepp. Även de totala förlusterna efter skörd och den lösliga torrsubstansen minskar med ett högre I_{AD} -värde. 'Aroma' visar liknande resultat där fysiologiska sjukdomar, svampangrepp och de totala förlusterna efter skörd minskar. Resultaten även i denna studie visar att frukt skördad vid ett relativt hög I_{AD} -värde ger frukt med bättre lagringspotential.

För att bestämma det specifika DA-värde som är optimalt vid skörd för att ge den bästa lagringsdugligheten, jämfördes de olika kvalitetsparametrarna med I_{AD} -värdet vid skörd. Skillnaderna i fasthet och löslig torrsubstans är inte tillräckliga för att avgöra

vilket I_{AD}-värde som ger bättre lagringspotential, och därför får förekomsten av fysiologiska sjukdomar och svampangrepp avgöra vilket värde som ger bäst lagringspotential.

För 'Discovery' ger de lägre I_{AD}-värdena (0,3-0,59; 0,6-0,99) minde förekomst av fysiologisk skada och svampangrepp, men dessa lägre värden ger även sämre resultat för fruktens utseende. Det lägsta värdet (<0,3) ger högre löslig torrs substans, men även hög förekomst av fysiologisk skada, svampsjukdomar och dåligt utseende. Relativt hög I_{AD}-värde (1,0-1,5) ger frukt med bra utseende, låg frekvens av svampangrepp, men högre frekvens av fysiologiska skada (speciellt för frukt lagrad i 12 veckor). Av dessa resultat kan slutsatsen dras att frukt bör skördas inom intervallen I_{AD} 1,0-1,5. Resultaten visar även att 'Discovery' som plockats inom I_{AD} 1,0-1,5 har bäst lagringspotential om de lagras i maximum 11 veckor, där lagring i ytterligare en vecka försämrar alla de mätta kvalitetsegenskaperna.

För 'Aroma' ger det högre I_{AD}-värdet 1,91-2,2 låg förekomst av fysiologiska sjukdomar och svampangrepp, men frukt med dåligt utseende. Medan de lägre värdena (0,91-1,2; 1,25-1,6) ger frukt med bra utseende, men även har högre frekvens av fysiologiska skador och svampangrepp. För att få frukt med låg frekvens av skada och sjukdomar men ändå bra utseende efter lagring bör skörden ske vid ett I_{AD}-värde mellan 1,61-1,9.

Resultaten av denna studie visar att traditionella destruktiva mognadsindex kan ersättas med den icke destruktiva metoden (DA-mätare) för att bestämma optimal skördetidpunkt och lagringspotential för de två äpplesorterna (Discovery och Aroma). Detta betyder att denna apparat kan rekommenderas till odlare för att på ett enkelt och effektivt sätt bedöma trädmognad och därmed minska efterskördsluster och förbättra avkastning.

7 Referenser

- Aldén, B. (1994). *Våra fruktträd, kärn- och stenfrukter*. Göteborgs botaniska trädgård.
- Boyer, J. & Liu, R.H. (2004). Apple phytochemicals and their health benefits. *Nutrition Journal*. 3, 1-45
- Bramlage, W. J. (1993). Interactions of orchard factors and mineral nutrition on quality of pome fruit. *Acta Hort*. 326, 15-28.
- Cornille, A., Gladieux, P., Smulders, M.J.M., Roldán-Ruiz, I., Laurens, F. & Le Cam, B. (2012). New Insight into the History of Domesticated Apple: Secondary Contribution of the European Wild Apple to the Genome of Cultivated Varieties. *PLoS Genet* 8 (5), e1002703.
- Defilippi, B.G., Dandekar, A.M. & Kader, A.A. (2004). Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavour metabolites in apple (*Malus domestica* Borkh) fruits. *J. Agric. Food Chem.* 52, 5694 – 5701.
- DeLong, J. M., Prange, R. K., Harrison, P. A., Schofield, R. A. & DeEll, J. R. (1999). Using the Streif Index as a Final Harvest Window for Controlled-atmosphere Storage of Apples. *Hortscience*. 34(7), 1251–1255.
- DeLong, J., Prange, R., Harrison, P., Nichols, D. & Wright, H. (2014). Determination of optimal harvest boundaries for Honeycrisp™ fruit using a new chlorophyll meter. *Canadian Journal of Plant Science*. 94(2), 361-369.
- Dixon, J. & Hewett, E.W. (2000) Factors affecting apple aroma/flavour volatile concentration: A Review, *New Zealand Journal of Crop and Horticultural Science*. 28:3, 155-173.
- Ekenstierna, B. (2004). *Fruktkvalitet inom äppelodlingen- en studie av och för Äppelriket Österlen*. Sveriges Lantbruksuniversitet. Examensarbeten inom Hortonomprogrammet. 2004:19.

- Ericsson, N-A. (1982). *Skördetidpunktens inverkan på avkastning, frukttillväxt och kvalitet hos tre äpplesorter*. Rapport 23. Institutionen för trädgårdsvetenskap, Sveriges Lantbruksuniversitet.
- Ericsson, N-A. & Tahir, I. I. (1996 a). Studies on apple bruising: I. Estimation of incidence and susceptibility differences in the bruising of three apple cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences*. 46(4), 209-213.
- Ericsson, N-A. & Tahir, I. I. (1996 b). Studies on apple bruising: II. The effects of fruit characteristics, harvest date and precooling on bruise susceptibility of three apple cultivars. *Acta Agriculturae Scandinavica B-Plant Soil Sciences*. 46(4), 214-217.
- Ferguson, I. B. & Boyd, L. M. (2002). Inorganic nutrients and fruit quality. *Fruit Quality and its Biological Basis (Knee M Ed.)*. Boca Raton: CRC Press. ss. 17-45.
- Ferree, D. C. & Warrington, I.J. (2003). *Apples. Botany, production and uses*. Oxon: CABI Publishing.
- Fernqvist, F., Andersson, M. & Ekelund, L. (2011). Konsumenter om äpple. LTJ-fakultetens faktablad. Rapport 2011:18. s.1-4.
- Garratta, M.P.D., Breeze, T.D., Jennerb, N., Polcec, C., Biesmeijerc, J.C. & Potts, S.G. (2014). Avoiding a bad apple: Insect pollination enhances fruit quality and economic value. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 184, 34–40
- Gutierrez, M. S. (2014). *Fruit ripening/scald relationship in apple*, [Dissertation thesis], Alma Mater Studiorum Università di Bologna. Dottorato di ricerca in Scienze e tecnologie agrarie, ambientali e alimentari, 26 Ciclo. DOI 10.6092/unibo/amsdottorato/6630. ss. 30-41.
- Henze, J. (1983). Criteria to determine the quality of apples dependent on harvesting date and storage treatments. *Acta Hort*. 138, 69 – 75.
- Hörtensteiner, S. & Kräutler, B. (2011). Chlorophyll breakdown in higher plants. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Bioenergetics*. 1807(8), 977-988.

- Jackson, J.E. (2003). *Biology of Apples and Pears*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Jakopic, J., Zupan, A., Eler, K., Schmitzer, V., Stampar, F. & Veberic, R. (2015) It's great to be the King: Apple fruit development affected by the position in the cluster. *Scientia Horticulturae*. 194, 18-25
- Johansson, K. (2010). *Marknadsöversikt- Färska frukter och grönsaker*. Rapport 2010:22, Svenska Jordbruksverket.
- Johansson, K. & Persson, J. (2013). *Den svenska äppelodlingen växer*. Svenska Jordbruksverket.
- Jordbruksverket (2003). *Kvalitet på grönsaker och frukt*. Ingår i kurspärmen "Ekologisk produktion av grönsaker". www.sjv.se
- Jordbruksverket (2013). Handelsnorm för äpplen. Finns tillgänglig: <http://webbutiken.jordbruksverket.se/sv/artiklar/kv12.html> [2016-12-13]
- Kader, A.A. (1999). Fruit maturity, ripening, and quality relationships. *Acta Horticulturae*. 485, 203-207.
- Kader, A.A (2002). *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3. uppl. Oakland, Calif.: University of California, Agriculture and Natural Resources
- Kalinowska, M., Bielawska, A., Lewandowska-Siwkiewicz, H., Priebe, W., & Lewandowski, W. (2014). Apples: content of phenolic compounds vs. variety, part of apple and cultivation model, extraction of phenolic compounds, biological properties. *Plant Physiology and Biochemistry*. 84, 169-188.
- Kays, S.J. (1999). Preharvest factors affecting appearance. *Postharvest Biology and Technology*. 15, 233–247.
- Kondo, S., Meemak, S., Ban, Y., Moriguchi, T. & Harada, T. (2009). Effects of auxin and jasmonates on 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) synthase and ACC oxidase gene expression during ripening of apple fruit. *Postharvest Biology and technology*. 51(2), 281-284.

- Kovács, E., Sass, P. & Al-Arik, K. (1999). Cell wall analysis of different apple cultivars. *Acta Horticulturae*. 485, 219-224.
- Lal Kaushal, B.B. & Sharma, P.C. (1995). Apple handbook of fruit science and technology. In: Salunkhe, D.K., Kadam, S.S. (Eds), *Production, composition, storage and processing*. New York: Marcel Dekker. ss. 91 – 122.
- Livsmedelsverket (2016). *Livsmedelsdatabasen*. Hämtas: <http://www7.slv.se/SokNaringsinnehall> [2016-11-04]
- Lu, R., Guyer, D.E. & Beaudry, R.M., (2000). Determination of firmness and sugar content of apples using near-infrared diffuse reflectance. *Journal of Texture Studies*. 31, 615–630.
- Luckwill, L. C. (1974). A new look at the process of fruit bud formation in apple. In *Proceedings of the XIX International Horticultural Congress*. 3, 237-245.
- Marschner, H. (1995). *Mineral Nutrition of Higher Plants*. 2:a uppl. San Diego: ACADEMIC PRESS LIMITED.
- Nilsson, A. (1986). *Våra äpplesorter- deras historia, egenskaper och kännetecken*. Stockholm: Allmänna Förlaget AB.
- Nyasordzi, J., Friedman, H., Schmilovitch, Z., Igna, T., Weksler, A., Rot, I. & Lurie, S. (2013). Utilizing the IAD index to determine internal quality attributes of apples at harvest and after storage. *Postharvest Biology and Technology*. 77, 80-86.
- Pathange, L. P., Mallikarjunan, P., Marini, R. P., O'Keefe, S. & Vaughan, D. (2006). Non-destructive evaluation of apple maturity using an electronic nose system. *Journal of Food Engineering*. 77, 1018–1023.
- Peirs, A., Scheerlinck, N., Perez, A.B., Jancsó, P. & Nicolaï, B.M. (2002). Uncertainly analysis and modelling of the starch index during apple fruit maturation. *Postharvest Biol. Tech.* 26, 199 – 207.
- Pierson, CH.F., Ceponis, M.J. & McColloch, L.P. (1971). Market diseases of apples, pears and quinces. *Agriculture Handbook*. Nr. 376. PROTECT, USA.

- Ryall, A.L. & Pentzer, W.T. (1982). *Handling, transportation & storage of fruits and vegetables. Volume 2. Fruits and tree nuts*. 2:a uppl. Westport: THE AVI PUBLISHING COMPANY.
- Salunkhe, D.K. & Desai, B.B (1984). *Postharvest biotechnology of fruits, volume 1*. Boca Raaton: CRC Press.
- Sams, C.E. (1999). Preharvest factors affecting postharvest texture. *Postharvest Biology and Technology*. 15, 249–254.
- Sass, P. (1993). *Fruit Storage*. Arpad Aranyossy (Ed), Mezogazda Kiado, Budapest, Ungern
- Seifert, B., Pflanz, M., & Zude, M. (2014). Spectral shift as advanced index for fruit chlorophyll breakdown. *Food and Bioprocess Technology*. 7(7), 2050-2059.
- Seymour, G. B., Taylor, J. E. & Tucker, G. A. (Eds.) (1993). *Biochemistry of fruit ripening*. Springer Science & Business Media.
- Shewfelt, R.L. & Brückner, B. (2000). *Fruit & vegetable quality- An integrated view*. Boca Raton: CRC Press.
- Streif, J. (1996). Optimum harvest date for different apple cultivars in the 'Bodensee' area. In: de Jager, A., Johnso, D., Hohn, E. (Eds.), COST 94. *The postharvest treatment of fruit & vegetables: Determination & prediction of optimum harvest date of apple & pears*. ECSC-ECEAEC, Brussels. ss. 15-20.
- Tahir, I. (2006). *Control of pre- and postharvest factors to improve fruit quality and storability*. Acta Universitatis Agriculturae Sueciae, doctoral thesis nr: 2006 (35).
- Tahir, I., Johansson, E. & Olsson, M.E. (2007). Improvement of quality and storability of apple cv. Aroma by adjustment of some pre-harvest conditions. *Scientia Hort.*, 112, 164-171.
- Tahir, I. & Olsson, M. (2010). Quality and storability of five plum cultivars 'Prunus domestica L.' related to harvesting date and Ultra Low Oxygen atmosphere storage. *Acta Hort.*, 876, 109-114.

- Tahir, I. (2012). *Framtagning av optimala skördetidspunkten och ULO-lagringsbetingelser för några äppelsorter*. Rapport 2012:24. Sveriges lantbruksuniversitet.
- Tahir, I. I., & Nybom, H. (2013). Tailoring organic apples by cultivar selection, production system, and post-harvest treatment to improve quality and storage life. *HortScience*, 48(1), 92-101.
- Tahir, I. (2014). *Fruktodling och eftersköldsbehandling*. Alnarp: Visionmedia Syd.
- Tahir, I., Nybom, H., Ahmadi-Afzadi¹, M., Røen, K., Sehic, J. and Røen, D. (2015). Susceptibility to blue mold caused by *Penicillium expansum* in apple cultivars adapted to a cool climate. *Europ. J. Hort. Sci.* 80(3), 117-127.
- Tahir, I., & Vangdal, E. (2016). Determination of optimum harvest maturity for five apple cultivars using the chlorophyll absorbance index. *Acta Hort. In press*.
- Taiz, L. & Zeiger, E. (2010). *Plant physiology*. 5:e uppl. Sunderland: Sinauer Associates Inc.
- Tomala, K. (1997). Orchard factors affecting nutrient content and fruit quality. *Acta Hort.* 448, 257–264.
- Tromp, J., Webster, A. and Wertheim, S. 2005. Fundamentals of temperate zone tree fruit production. Backhuys Publishers.
- Watkins, C.B. & Rosenberger, D.A. (2002). Cornell Fruit Handling and Storage Newsletter. Hämtas: <http://www.fruit.cornell.edu/cfhsnews.html> [2016-12-08]
- Wills, R., McGlasson, B., Graham, D. & Joyce, D. (2007). *Postharvest, an introduction to the physiology and handling of fruit, vegetables and ornamentals, 5th edition*. University of New South Wales Press Ltd.
- Wolk, W. D., Lau, O.L., Neilsen, G.H. & Drought, B. G. (1998). Factors and Time of Sample Collection for Correlating Storage Potential of 'McIntosh', 'Spartan', and 'Golden Delicious' Apples. *Journal of the American Society for Horticultural Science*. 123(1), 104-109.

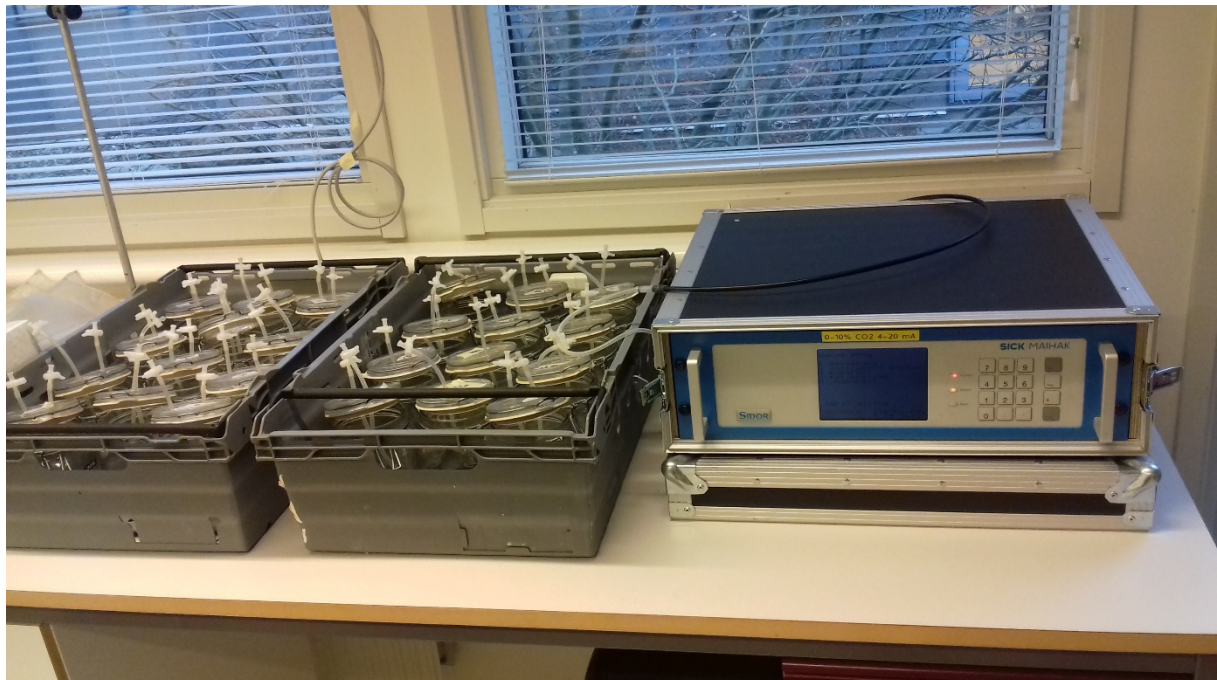
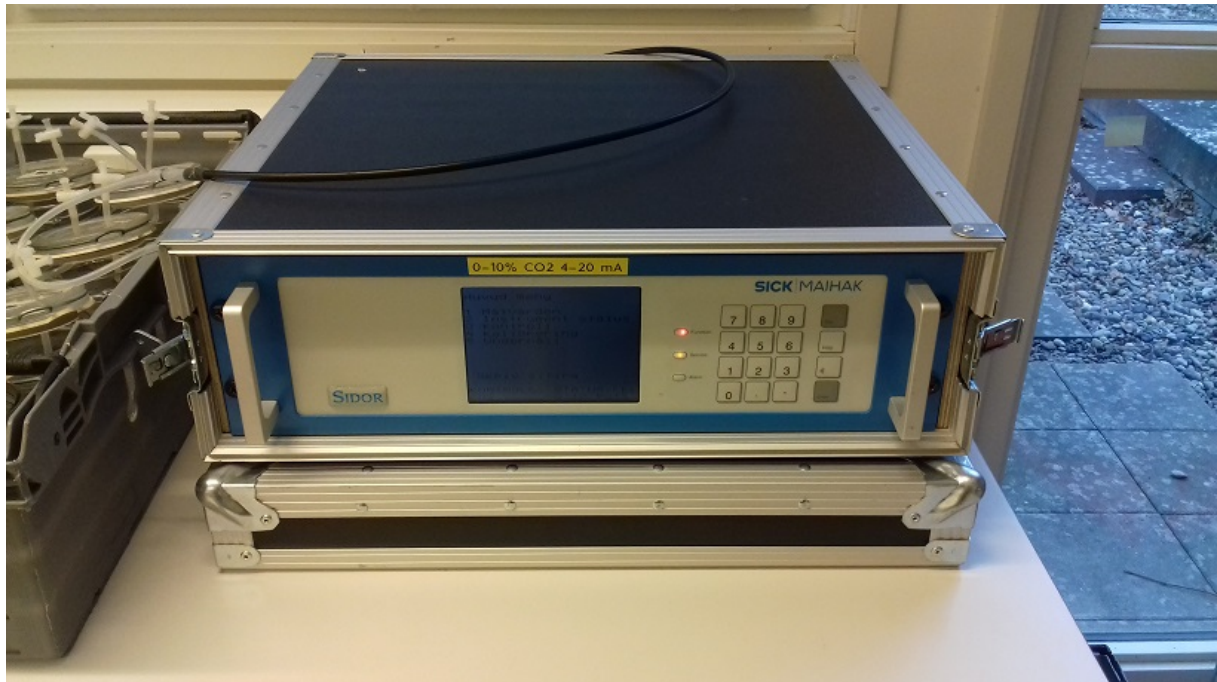
Zohary, D., Hopf, M. & Weiss, E. (2012). *Domestication of Plants in the Old World: The origin and spread of domesticated plants in Southwest Asia, Europe, and the Mediterranean Basin*. Oxford: Oxford University press.

Icke publicerat material

Tahir, I. (2016). Docentföreläsning 2016-11-11 SLU.

8 Bilagor

Bilaga 1. Koldioxidmätare



Bilaga 2. Stärkelsenedbrytningen i äpple under mognadsperioden



(1)



(2)



(3)



(4)



(5)



(6)



(7)



(8)



(9)



(10)